

Braunschweigische  
Wissenschaftliche Gesellschaft

# Jahrbuch 1999



**J. CRAMER Verlag · Braunschweig**

**2000**

Das vorliegende Jahrbuch ist bei der Braunschweigischen Wissenschaftlichen  
Gesellschaft und beim Buchhandel erhältlich  
Preis: DM 30,00

Gedruckt mit Hilfe von Forschungsmitteln  
des Landes Niedersachsen

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft  
Fallersleber-Tor-Wall 16 · D-38100 Braunschweig  
Postfach 3329 · D-38023 Braunschweig  
Telefon: (05 31) 1 44 66 · Fax (05 31) 1 44 60

Für die Redaktion verantwortlich:  
Der Generalsekretär der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

ISSN 0931-1734  
ISBN 3-934656-03-X

Gesamtherstellung:  
J. Cramer Verlag · Am Hasengarten 23 A · D-38126 Braunschweig  
2000  
Printed in Germany

## INHALTSVERZEICHNIS

### ALLGEMEINES UND HISTORISCHES

Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (BWG)...	9
Die Organe der BWG 1943 - 1999 .....	10
Satzung der BWG .....	12

### PLENARVERSAMMLUNGEN

15.01.1999	in Braunschweig <i>Hartmut Thieme</i> : Neue Entdeckungen für die Urgeschichte des Menschen: Die altpaläolithischen Fundplätze im Tagebau Schöningen .....	17
12.02.1999	in Braunschweig <i>Claus-Artur Scheier</i> : Die Metaphysik und der Motor .....	21
12.03.1999	in Braunschweig <i>Joachim Klein</i> : Kunststoffe – eine Leistung der Chemie mit Zukunft ...	25
16.04.1999	in Braunschweig <i>Klaus Wolfgang Hulek</i> : Das Ikosaeder .....	29
21.05.1999	in Hannover <i>Wolfgang Stahl</i> : Die Klimaentwicklung – Gedanken aus der Sicht eines Geowissenschaftlers .....	35
10.07.1999	in Clausthal-Zellerfeld <i>Klaus Schwerdtfeger</i> : Neue Verfahren zur Herstellung von Flachprodukten aus Stahl .....	37
08.10.1999	in Braunschweig Ulrich Reimers: Vom Kabelnetz zum Full-Service-Network .....	43
05.11.1999	in Braunschweig <i>Brigide Schwarz</i> : Alle Wege führen über Rom. Eine Seilschaft von Klerikern aus Hannover im Spätmittelalter .....	47

## KLASSENSITZUNGEN

**Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften**

12.02.1999	in Braunschweig <i>Joachim Heidberg</i> : The Pysisorbate $H_2O$ -NaCl(001) .....	53
12.03.1999	in Braunschweig <i>Günter Maaß</i> : Restriktionsenzyme – Physikalische Chemie und Enzymologie .....	61
05.11.1999	in Braunschweig <i>Karl Schügerl</i> : Neue Entwicklungen in der Bioreaktionstechnik .....	63

**Klasse für Ingenieurwissenschaften**

12.02.1999	in Braunschweig <i>Kurt Leschonski</i> : Feinstzerkleinerung durch Prall	
12.03.1999	in Braunschweig <i>Ulrich Reimers</i> : Terrestrisches Digitalfernsehen (DVB-T) – Technik, Leistungsmerkmale, das Modellvorhaben in Norddeutschland	
21.05.1999	in Hannover <i>Hans Georg Musmann</i> : Entwicklungstendenzen in der Kommunikationstechnik .....	69
05.11.1999	in Braunschweig <i>Karl Popp</i> : Nichtglatte dynamische Systeme – Beispiele und Analysemethoden – .....	73

**Klasse für Geisteswissenschaften**

15.01.1999	in Braunschweig <i>Gregor Maurach</i> : Vergils Weg zur Klassik .....	79
21.05.1999	in Hannover <i>Hans Kloft</i> : Geld und Wirtschaft – Anfänge in der Antike .....	81
08.10.1999	in Braunschweig <i>Klaus Alpers</i> : Livius-Rezeption in Bildwerken des Lüneburger Rathauses .....	87



## FEIERLICHE JAHRESVERSAMMLUNG am 11. Juni 1999

**Öffentliche wissenschaftliche Vorträge**

<i>Hermann Sahm, Jülich:</i> Entwicklung von Bakterienstämmen zur Herstellung der essentiellen Aminosäure L-Lysin .....	91
<i>Volker Schellenberger, Palo Alto/USA</i> Optimierung von Enzymen und Mikroorganismen durch gerichtete Evolution	
<i>Hansjörg Hauser, Braunschweig:</i> Perspektiven der Biotechnologie in der modernen Medizin .....	103
<i>Gerhard Quinkert, Frankfurt/Main:</i> Die Biologische Herausforderung	

**Festversammlung im Altstadtrathaus**

Der Präsident der BWG, <i>Norbert Kamp:</i> Ansprache und Bericht .....	115
<i>Joachim Klein</i> Laudatio zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 1999 an <i>Christian</i> <i>Wandrey</i> .....	123
<i>Christian Wandrey</i> Technologie-Transfer in der Biotechnologie .....	127
Urkunde und Lebenslauf des Preisträgers .....	139
Der Generalsekretär der BWG, <i>Elmar Steck:</i> Schlußworte .....	141

**COLLOQUIUM**

2. Colloquium der Kommission „Recht und Technik“: Die Begriffe Risiko und Gefahr im Recht und in der Technik .....	143
Vorwort .....	145
<i>Werner Thieme:</i> Einführung .....	147
<i>Franz-Joseph Peine:</i> Gefahr, Risiko, Restrisiko – Begriffsbestimmung und Probleme aus juristischer Sicht – .....	151

<i>Hanns-Peter Ekardt: Risiko in der Ingenieurwissenschaft und in der Ingenieurpraxis</i> .....	165
---	-----

**Vorbereitete Statements:**

<i>Joachim Klein</i> .....	187
<i>Manfred Lindmayer</i> .....	191
<i>Peter Salje</i> .....	193
<i>Joachim Scheer</i> .....	197
<i>Bericht über die Aussprache</i> .....	201

**MITTEILUNGEN**

Veröffentlichungen .....	209
Geschäftliche Mitteilungen .....	209

**PERSONALIA**

Todesfälle .....	210
Nachrufe auf <i>Martin Kersten</i> und <i>Hans Robert Müller</i> .....	211
Zuwahlen .....	214
Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 1949 - 1999 .....	223
Mitgliederverzeichnis .....	226

# ALLGEMEINES UND HISTORISCHES

## Zur Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Im Jahre 1943 führten die Initiativen einiger Professoren der Braunschweiger Technischen Hochschule Carolus Wilhelmina zur Errichtung der „Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“. Sie wurde nach Genehmigung der vorgelegten Satzung durch den damals zuständigen Reichsminister für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung am 9. Dezember 1943 in einer feierlichen Sitzung konstituiert. Das zu diesem Anlaß von dem ersten Vorsitzenden des Senats der neuen Gesellschaft, Prof. Dr.-Ing. Ernst Schmidt, erstattete Referat gibt Auskunft über die Motive dieser Gründung. Maßgebend war der Wunsch nach Überwindung eines allzu engen wissenschaftlichen Spezialistentums und einer einseitigen Orientierung der Forschung auf rasche Verwertbarkeit ihrer Ergebnisse. Dies wird in der ersten Satzung der Gesellschaft deutlich. In deren § 1 bestimmt sie: „insbesondere soll sie über die fachlichen Grenzen hinaus die Bearbeitung von Gemeinschaftsaufgaben übernehmen und dazu beitragen, innere Beziehungen zwischen allen Wissens- und Lebensgebieten herzustellen“. Organisatorisch war die Neugründung als selbstständige wissenschaftliche Gesellschaft mit eigenen Organen (Kuratorium, Senat, Fachbereiche) angelegt. Der jeweilige Rektor der Technischen Hochschule Braunschweig war jedoch ex officio zum Präsidenten der Gesellschaft bestimmt, was hauptsächlich auf eine administrative Vereinfachung abzielte.

Bis Ende 1944 wurde die Gesellschaft durch Berufung von Mitgliedern aus verschiedenen Fachgebieten personell ausgebaut. Besondere Aktivitäten konnte sie in den letzten Monaten des zweiten Weltkrieges nicht mehr entfalten. Sie bestand auch nach dem Kriege unter einem kommissarischen Präsidenten unverändert fort. Jedoch wurden Maßnahmen eingeleitet, um die Gesellschaft uneingeschränkt zu verselbständigen, wobei die Organisationsform einer Akademie der Wissenschaften angestrebt wurde. Sie war im Kern durch Selbstergänzung und begrenzte Platzzahl der Mitglieder sowie durch Gliederung in Fachbereiche bereits vorhanden.

Vor allem wurde die Gesellschaft nun auch mit ihrem Plenum und ihren Abteilungen – seit 1950 Klassen – wissenschaftlich aktiv. In beiden Bereichen wurden wissenschaftliche Vorträge und Diskussionen durchgeführt. Initiiert von Prof. Dr. phil. Eduard Justi erschien 1949 der erste Band der als Publikationsorgan eingerichteten „Abhandlungen“. Im gleichen Jahre verlieh die Gesellschaft erstmalig die kurz zuvor gestiftete Carl-Friedrich-Gauß-Medaille. 1953 erhielt die Gesellschaft schließlich den Status einer Körperschaft des öffentlichen Rechts. Mit dem Errichtungserlaß des Niedersächsischen Landesministeriums wurde ihr zugleich eine neue Satzung gegeben, in der freilich Teile der ehemaligen Satzung erhalten geblieben waren. 1971 erhielt die Gesellschaft eine in einigen Bereichen veränderte und schließlich 1993 ihre heute gültige Satzung, die sie im Geiste einer Akademie der Wissenschaften mit deutlich technischem Schwerpunkt auszufüllen bestrebt ist. In diesem Rahmen finden laufend wissenschaftliche Plenar- und Klassensitzungen statt. Zur Durchführung langfristiger Forschungsvorhaben hat die BWG eine

Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte, eine Kommission für Umwelt und Technik und eine Kommission für Recht und Technik eingesetzt. Von den jährlich erscheinenden „Abhandlungen“ sind bisher 47 Bände und in der Schriftenreihe der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte 7 Bände publiziert worden. Initiiert von Prof. Dr. techn. Karl Heinrich Olsen, veröffentlicht die BWG seit 1983 Jahrbücher, die insbesondere über Vortragsveranstaltungen, Kommissionstätigkeiten und Personalien berichten.

### Die Organe der BWG 1943-1997

Konstituierende Sitzung:	30.11.1943	
Eröffnungssitzung:	09.12.1943	[siehe Abhandlungen der BWG <b>21</b> (1969), 8]
Erste Satzung:	1944	[siehe Abhandlungen der BWG <b>1</b> (1949),169]
Zweite Satzung:	1953	[siehe Abhandlungen der BWG <b>5</b> (1953),212]
Dritte Satzung:	1971	[siehe Abhandlungen der BWG <b>22</b> (1970),291]
Vierte Satzung:	1993	[hier abgedruckt S. 12 ff.]

### PRÄSIDENTEN

1943-45: Fritz Gerstenberg; 1946-48: Gustav Gassner; 1949-50: Hans Herloff Inhoffen; 1951-53: Eduard Justi; 1954-56: Leo Pungs; 1957-59: Max Kohler; 1960-62: Hans Kroepelin; 1963-66: Paul Koeßler; 1967-70: Hermann Blenk; 1971-77: Karl Gerke; 1978-80: Herbert Wilhelm; 1981-86: Karl Heinrich Olsen; 1987-92: Gerhard Oberbeck; 1993-95: Werner Leonhard; 1996-1999: Norbert Kamp; seit 2000: Joachim Klein

### GENERALSEKRETÄRE

1943-45: Ernst August Roloff; 1946-48: Wilhelm Gehlhoff; 1949-50: Eduard Justi; 1951-53: Hermann Schlichting; 1954-1959: Hans Herloff Inhoffen; 1960-61: Hellmut Bodemüller; 1962-64: Hans Joachim Bogen; 1965-69: Hermann Schaefer; 1970-71: Karl Gerke; 1972-73: Arnold Beuermann; 1974-80: Karl Heinrich Olsen; 1981-82: Ulrich Wannagat; 1983-85: Hans Joachim Kanold; 1986-88: Egon Richter; 1989-91: Harmen Thies; 1992-94: Ulrich Wannagat; 1995-97: Helmut Braß; seit 1998: Elmar Steck

**VORSITZENDE DER KLASSEN**  
**BIS 1954 SEKRETÄRE DER ABTEILUNGEN**

*Mathematik und Naturwissenschaften*

1943-47: G. Cario; 1948-50: P. Dorn; 1951-53: H.H. Inhoffen; 1954-57: P. Dorn; 1958-60: H. Kroepelin; 1961: H. Poser; 1962-64: H. Hartmann; 1965-66: H. Schumann; 1967-72: M. Grützmaker; 1973-76: U. Wannagat; 1977-80: H.R. Müller; 1981-84: E. Richter; 1985-89: O. Rosenbach; 1990-91: St. Schottlaender; 1992-94: H.J. Kowalsky; 1995-97: H. Tietz; 1998-1999: K. Schügerl

*Ingenieurwissenschaften*

1943-48: E. Marx; 1949-53: L. Pungs; 1954-56: O. Flachsbar; 1957-60: W. Hofmann; 1961-64: H. Hausen; 1965-70: G. Wassermann; 1971-77: H.W. Hennicke; 1978-79: Th. Rummel; 1980-83: M. Mitschke; 1984-93: R. Jeschar; 1994-96: H.-G. Unger; seit 1997: E. Stein

*Bauwissenschaften*

1943-48: ?; 1949-53: Th. Kristen; 1954-62: F. Zimmermann; 1963-67: A. Pflüger; 1968-69: J. Göderitz; 1970-73: W. Wortmann; 1974: K.H. Olsen; 1975-78: H. Duddeck; 1979-83: W. Höpcke; 1984-93: J. Herrenberger; (seit 1994: vereinigt mit der Klasse für Ingenieurwissenschaften)

*Geisteswissenschaften*

1943-48: W. Jesse; 1949-53: W. Gehlhoff; 1954-57 (Obmann): W. Jesse; 1958-61 (Obmann): H. Glockner; 1962-68 (Obmann): H. Heffter; 1969-78: A. Beuermann; 1979-87: M. Gosebruch; 1988-89: H. Boeder; 1990-91: G. Maurach; 1992-1998: C.-A. Scheier; 1999: G. Maurach

## **Satzung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft**

**(In Kraft seit 6.4.1993)**

### **§ 1**

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft hat durch eigene Tätigkeit und im Zusammenwirken mit anderen Gesellschaften der Wissenschaft zu dienen.

### **§ 2**

Die Gesellschaft ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts. Ihr Sitz ist Braunschweig. Sie führt ein Dienstsiegel.

### **§ 3**

Die Gesellschaft hat drei Klassen:

die Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften,  
die Klasse für Ingenieurwissenschaften,  
die Klasse für Geisteswissenschaften.

### **§ 4**

(1) Die Gesellschaft besteht aus ordentlichen und korrespondierenden Mitgliedern.

(2) Ordentliche Mitglieder können verdienstvolle Gelehrte werden, die ihren Wohnsitz in Niedersachsen haben. Sie sind zur regelmäßigen Teilnahme an den Sitzungen des Plenums und ihrer Klassen sowie zur Förderung der wissenschaftlichen Arbeiten verpflichtet und gehalten, zu den Publikationen der Gesellschaft beizutragen. Ordentliche Mitglieder, die das 70. Lebensjahr vollendet haben, werden von den Pflichten entbunden, behalten jedoch ihre Rechte bei. Die Höchstzahl der ordentlichen Mitglieder, welche das 70. Lebensjahr noch nicht vollendet haben, beträgt:

30 für die Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften,  
40 für die Klasse für Ingenieurwissenschaften,  
30 für die Klasse für Geisteswissenschaften.

(3) Zu korrespondierenden Mitgliedern können, ohne Rücksicht auf ihren Wohnsitz, verdienstvolle Gelehrte berufen werden, denen eine regelmäßige persönliche Teilnahme an den Sitzungen und Arbeiten der Gesellschaft nicht möglich ist. Sie können an allen Sitzungen teilnehmen, haben aber kein Stimmrecht. Die Zahl der korrespondierenden Mitglieder ist nicht beschränkt.

(4) Ordentliche Mitglieder, die ihren Verpflichtungen nicht nachzukommen vermögen, können die Überführung in den Status eines korrespondierenden Mitglieds beantragen. Von ordentlichen Mitgliedern, die ohne gerechtfertigten Grund vier aufeinanderfolgenden Sitzungen des Plenums oder ihrer Klasse ferngeblieben sind, muß angenommen werden, daß sie ihren Verpflichtungen nicht mehr nachzukommen vermögen. Auf Vorschlag ihrer

Klasse kann durch den Verwaltungsausschuß die Mitgliedschaft in die eines korrespondierenden Mitglieds umgewandelt werden.

#### § 5

(1) Die Mitglieder werden auf Vorschlag von mindestens drei ordentlichen Mitgliedern und nach Antrag der zuständigen Klasse durch das Plenum in geheimer Abstimmung gewählt.

(2) Auf die Mitgliedschaft kann durch schriftliche Erklärung gegenüber dem Präsidenten verzichtet werden.

(3) Ein Mitglied kann wegen ehrenrührigen Verhaltens ausgeschlossen werden. Für das Verfahren gelten die Vorschriften über die Wahl.

#### § 6

(1) Im Plenum und in den Klassen berichten die Mitglieder über eigene Arbeiten und die ihrer Mitarbeiter, die ordentlichen Mitglieder auch über Arbeiten anderer. Der Vorsitzende kann zum wissenschaftlichen Teil der ordentlichen Sitzungen Gäste, die von einem ordentlichen Mitglied eingeführt sind, einladen.

(2) Das Plenum hält in jedem Jahr mindestens eine Hauptsitzung ab. Es hört und erörtert Rechenschaftsberichte. Zu den Hauptsitzungen sind auch die korrespondierenden Mitglieder einzuladen.

#### § 7

Die Gesellschaft gibt die „Abhandlungen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft“ sowie ein „Jahrbuch“ heraus. Einzelheiten regelt die Druckschriftenordnung.

#### § 8

Die Gesellschaft kann darüber hinaus eigene Forschungsarbeiten durchführen, Forschungsarbeiten ihrer Mitglieder oder Dritter unterstützen, wissenschaftliche Stellungnahmen abgeben und wissenschaftliche Tagungen, Symposien sowie Vorträge veranstalten. Um der Öffentlichkeit Einblick in wissenschaftliche Probleme zu geben und sie mit den Ergebnissen wissenschaftlicher Arbeit bekanntzumachen, veranstaltet die Gesellschaft auch öffentliche Vorträge. Ferner kann die Gesellschaft wissenschaftliche Schriften und Berichte herausgeben oder ihre Herausgabe unterstützen.

#### § 9

Die Gesellschaft verleiht, in der Regel jährlich zum Geburtstag von Carl Friedrich Gauß am 30. April, die „Carl-Friedrich-Gauß-Medaille“. Das Verfahren regeln die besonderen Bestimmungen für die Verleihung der Gauß-Medaille.

#### § 10

(1) Die Leitung der Gesellschaft obliegt dem Präsidenten. Er beruft die Sitzungen des Plenums ein, stellt die Tagesordnung fest, leitet die Verhandlungen, hat bei allen mündlichen Abstimmungen für den Fall der Stimmengleichheit die entscheidende Stimme, führt

den Vorsitz in allen Ausschüssen – soweit nicht andere Regelungen getroffen sind –, unterzeichnet die Sitzungsprotokolle und sorgt für die Ausführung der Beschlüsse. Er vertritt die Gesellschaft nach außen und hat die Aufsicht über die Geschäftsführung im Benehmen mit den Klassenvorsitzenden.

(2) Der Präsident wird aus dem Kreis der ordentlichen Mitglieder durch das Plenum in geheimer Abstimmung für die Amtsdauer von drei Jahren gewählt. Wiederwahl ist zulässig. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer.

(3) Die Stellvertretung des Präsidenten übernimmt als Vizepräsident der turnusmäßig älteste Klassenvorsitzende.

#### § 11

(1) Die Leitung der Klassen obliegt den Klassenvorsitzenden; § 10 Abs. 1 Satz 2 gilt entsprechend.

(2) Die ordentlichen Mitglieder jeder Klasse wählen aus ihrem Kreis in geheimer Abstimmung den Klassenvorsitzenden so, daß jedes Jahr einer der Klassenvorsitzenden ausscheidet. Wiederwahl ist zulässig. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer.

(3) Die Klassenvorsitzenden betrauen mit ihrer Vertretung von Fall zu Fall ein ordentliches Mitglied der Klasse.

#### § 12

(1) Dem Generalsekretär obliegen die Geschäftsführung, die Veranstaltung öffentlicher Vorträge und die Herausgabe von Veröffentlichungen der Gesellschaft.

(2) Der Generalsekretär muß seinen Wohnsitz in Braunschweig oder im näheren Umkreis von Braunschweig haben. Er wird aus dem Kreis der ordentlichen Mitglieder durch das Plenum in geheimer Abstimmung für die Amtsdauer von drei Jahren gewählt. Wiederwahl ist zulässig. Ersatzwahlen erfolgen für den Rest der Amtsdauer. In dem Jahr, in dem der Präsident neu gewählt wird, soll ein Wechsel im Amt des Generalsekretärs nicht stattfinden.

#### § 13

Der Präsident, die Klassenvorsitzenden und der Generalsekretär bilden den Verwaltungsausschuß. Dieser hat die Aufgabe, über Arbeitsvorhaben und Arbeitsweise der Gesellschaft zu beschließen, den Haushaltsplan aufzustellen und über Inventar und Vermögen der Gesellschaft im Rahmen der Beschlußfassung des Plenums zu verfügen. Der Präsident kann zur Beratung des Verwaltungsausschusses Mitglieder der Gesellschaft und andere Persönlichkeiten, deren Teilnahme im Interesse der Gesellschaft liegt, hinzuziehen.

#### § 14

(1) Der Haushaltsplan ist vor Beginn des Haushaltsjahres (Kalenderjahr) aufzustellen und vom Plenum zu beschließen.

(2) Überschüsse früherer Jahre verbleiben der Gesellschaft; sie sind im Haushaltsplan auszuweisen.



(3) Die Gesellschaft hat nach Ende eines jeden Haushaltsjahres eine Rechnung aufzustellen. Die Rechnung ist, unbeschadet einer Prüfung durch den LRH nach § 111 LHO, durch die bei der Bezirksregierung Braunschweig eingerichtete Vorprüfungsstelle zu prüfen. Die Prüfung soll sich auf die Ordnungsmäßigkeit der Rechnungslegung sowie auf die wirtschaftliche und satzungsgemäße Verwendung der Mittel erstrecken.

Das Plenum beschließt ferner über die Entlastung des Verwaltungsausschusses. Die Entlastung bedarf der Genehmigung des MWK und des MF.

#### § 15

Das Plenum beschließt ferner über die Geschäftsordnung, Druckschriftenordnung, Bestimmungen über die Verleihung der Gauß-Medaille und über Änderungen dieser Satzung.

#### § 16

(1) Zu Wahlen und Beschlußfassungen gemäß § 14 Abs. 1 und 3 und § 15 muß mindestens die Hälfte der Anzahl der ordentlichen Mitglieder unter 70 Jahren anwesend sein.

(2) Die Wahlen und die Beschlüsse über Satzungsänderungen erfordern eine Stimmenmehrheit von zwei Dritteln aller anwesenden stimmberechtigten Mitglieder. Führt bei der Wahl des Präsidenten und des Generalsekretärs der erste Wahlgang zu keiner Zweidrittelmehrheit, so findet sofort ein zweiter Wahlgang statt. Wird auch hierbei die Zweidrittelmehrheit nicht erzielt, so ist in einem dritten Wahlgang gewählt, wer die absolute Mehrheit erreicht. Notfalls ist eine Stichwahl durchzuführen. Bei Stimmengleichheit entscheidet das Los.

(3) Bei den übrigen Beschlußfassungen und sonstigen Abstimmungen entscheidet die einfache Mehrheit der stimmberechtigten Anwesenden.

(4) Ordentliche Mitglieder können ihr Stimmrecht durch schriftliche Vollmacht auf ein anderes ordentliches Mitglied übertragen; in diesem Fall gelten sie als anwesend.

#### § 17

(1) Die Wahl des Präsidenten und des Generalsekretärs bedarf der Bestätigung durch die LReg.

(2) Der Haushaltsplan und Änderungen dieser Satzung bedürfen der Genehmigung durch die LReg.

(3) Das Ergebnis der Wahlen der ordentlichen Mitglieder und der Klassenvorsitzenden, der Ausschluß eines Mitglieds und der Verzicht eines Mitglieds auf die Mitgliedschaft sind der LReg. anzuzeigen.

### Übergangsbestimmungen

Die Satzung tritt mit dem Tag der Genehmigung in Kraft. Befristet auf fünf Jahre nach dem Inkrafttreten der Satzung können der Klasse für Ingenieurwissenschaften bis zu 45 ordentliche Mitglieder unter 70 Jahren angehören, wobei die Höchstzahl aller ordentlichen Mitglieder unter 70 Jahren in der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft auf 100 begrenzt bleibt.



# PLENARVERSAMMLUNGEN

HARTMUT THIEME, Hannover

## **Neue Entdeckungen für die Urgeschichte des Menschen: Die altpaläolithischen Fundplätze im Tagebau Schöningen**

Braunschweig, 15.01.1999\*

Im Rahmen des langfristigen Projektes „Archäologische Schwerpunktuntersuchungen im Helmstedter Braunkohlerevier“ (ASHB) werden seit 1983 im unmittelbaren Vorfeld des etwa 6 km<sup>2</sup> großen Tagebaues Schöningen von der archäologischen Denkmalpflege in Hannover Rettungsgrabungen unter der Leitung des Verf. durchgeführt, vielfältig unterstützt und gefördert durch die abbautreibende Braunschweigische Kohlen-Bergwerke AG, Helmstedt. Seitdem sind dort zahlreiche urgeschichtliche Siedlungen und Gräber aus dem Neolithikum sowie der Bronze- und Eisenzeit (ca. 5 500 v. Chr. bis in die Zeit um Christi Geburt) vor der Überbaggerung entdeckt und ausgegraben worden, seit 1992 auch mehrere Fundplätze aus der frühen Altsteinzeit (THIEME & MAIER 1995).

Während dieser Arbeiten konnte im Zuge der Erschließung des Tagebaues auch eine vielfältige mittel- und jungpleistozäne Sedimentationsabfolge in den hangenden Quartärdeckschichten dokumentiert werden, die einen Zeitrahmen von mehr als einer halben Million Jahre mit insgesamt sechs Klima-Großzyklen (seit der Elster-Eiszeit) umfaßt (MANIA 1995). Die darin eingeschlossenen mächtigen organogenen Interglazialfolgen mit ihren reichen Fossilspektren bilden die Grundlage für ein solides biostratigraphisches und quartärgeologisches Referenzprofil für die Klima-, Vegetations- und Umweltgeschichte i. w. S. in Mitteleuropa.

Von großer Bedeutung sind die darin in zwei mittelpleistozänen Interglazialabfolgen seit 1992 in etwa 10–15 m Tiefe entdeckten altpaläolithischen Fundplätze – mit großem Abstand die ältesten Siedlungsnachweise des Menschen in Niedersachsen (ca. 400 000 Jahre und älter), die detaillierte Einblicke in die frühe europäische Besiedlungsgeschichte und Kulturabfolge ermöglichen.

Der älteste Fundhorizont (Schöningen 13 I) wurde im Frühjahr 1994 an der Basis wahrscheinlich des Holstein-Interglazials entdeckt und konnte während einer dreimonatigen Rettungsgrabung auf einer Fläche von etwa 120 m<sup>2</sup> Größe untersucht werden (THIEME 1995). In der sandigen Uferzone eines Sees kamen neben Skelettresten vom Steppen-elefanten (*Mammuthus trogontherii*), Wildrind, Wildpferd und Rothirsch verschiedene kleinformatige Werkzeuge und Abschläge aus Feuerstein sowie zahlreiche verbrannte (craquelierte) Feuersteintrümmer und auch -artefakte zum Vorschein. Das Ergebnis einer ersten Thermolumineszenz (TL)-Altersmessung an einem der gebrannten Flinte ergab deutlich mehr als 400 000 Jahre und bestätigt vorläufig die zeitliche Tiefe der in Schöningen erarbeiteten Quartärabfolge.

---

\* Kurzfassung eines Vortrages vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Ein großes Gewicht kommt in dieser Abfolge dem nächstjüngeren, viertletzten und bisher nicht belegten Klima-Großzyklus der Reinsdorf-Warmzeit zu (URBAN 1995), der das bisherige pleistozäne Gliederungsschema korrigiert bzw. ergänzt und in dem bis jetzt vier zeitlich aufeinanderfolgende Fundhorizonte mit ausgezeichneten Erhaltungsbedingungen für organische Materialien teiluntersucht werden konnten. Zwei dieser Fundplätze haben erstmalig aus diesem frühen Abschnitt der Menschheitsgeschichte ein Spektrum verschiedenartiger, hervorragend erhaltener Gerätschaften aus Holz geliefert:

So wurden 1992 auf dem altpaläolithischen Fundplatz Schöningen 12, Fundschicht 1 (THIEME, MANIA U.A. 1993), der in das Optimum dieses Interglazials gehört, außer den Skelettresten zehn verschiedener Großsäugerarten einer *Palaeoloxodon antiquus*-Fauna (KOLFSCHOTEN 1993) und Feuersteinwerkzeugen mehrere Tannenaaststücke (SCHOCH 1995) geborgen, die an ihren Enden mit einer Schnittkerbe versehen sind. Es könnte sich hier um Schäftungshilfen für Feuersteinartefakte, also um Griffe handeln, die im Sinne von Klemmschäften funktionierten – die ältesten Nachweise für die Verwendung bereits standardisierter, als Klemmschäfte interpretierter Kompositgeräte (THIEME & MAIER 1995, 68 ff.).

Im Herbst 1994 wurde in Ablagerungen der ausgehenden Reinsdorf-Warmzeit, in der Uferzone eines ehemaligen Flachwassersees, ein etwa 400 000 Jahre altes Wildpferd-Jagdlager aus der Zeit des Urmenschen angeschnitten (Fundplatz Schöningen 13 II-4). Bis Ende 1998 fanden sich dort in einer Grabungsfläche von etwa 2 500 m<sup>2</sup> abertausende von Großsäugerknochen (hauptsächlich vom Wildpferd), Feuersteinwerkzeuge und mehrere Feuerstellen. Außer einem 78 cm langen und an beiden Enden angespitzten Holzgerät, wahrscheinlich ein Wurfholz, wurden insgesamt sieben hölzerne Wurfspere geborgen, eine für die frühe Menschheitsgeschichte umwälzende Entdeckung (THIEME 1996, 1997). Sie haben Längen von 1,82 m bis etwa 2,50 m, lang ausgezogene Spitzen und sind meist aus Fichtenstämmchen gearbeitet (Abb. 1). Die heutigen Wettkampfspeeren ähnelnden Waffen lagen inmitten der Skelettreste von mehr als 17 Pferden, der Jagdbeute des Urmenschen. Es sind dies die bislang ältesten vollständig erhaltenen Jagdwaffen der Menschheit. Die Speere rücken somit auch ein (Welt-)Bild zurecht (DENNELL 1997), das in den vergangenen Jahrzehnten besonders im anglo-amerikanischen Fachschrifttum über unsere frühen Vorfahren ausgestaltet worden und fast zur Lehrmeinung (BINFORD 1981) geworden war, nämlich daß zur (systematischen) Großwildjagd erst der moderne Mensch (*Homo sapiens sapiens*) – als der eigentliche Kulturträger – etwa seit der Mitte der letzten Eiszeit befähigt gewesen sei und der Neandertaler und der Urmensch ihre Existenz primär durch die Verwertung von Aas (Fallwild), vielleicht gerade noch als opportunistische Jäger auf ungefährliches Kleinwild gesichert hätten (GAMBLE 1987).

Die in dem altpaläolithischen Wildpferd-Jagdlager in Schöningen gefundene Kollektion von Wurfspereen zeigt nun jedoch in aller Deutlichkeit, daß bereits der Urmensch (*Homo erectus*) ein äußerst geschickter Jäger war, der es zu dieser frühen Zeit anscheinend längst verstand, eine Großwildjagd mit speziellen Fernwaffen zu planen, zu organisieren, zu koordinieren und erfolgreich durchzuführen. Er verfügte damit bereits über die erst dem modernen Menschen zugeschriebenen intellektuellen



Abb. 1: Schöningen, Ldkr. Helmstedt. Fundplatz Schöningen 13 II-4: Freileigungsarbeiten im Sommer 1995 an einem ca. 2,25 m langen, altpaläolithischen Speer aus Fichtenholz (Speer I), der durch Sedimentauflast und Umlagerungsprozesse in die Teilstücke 1 (Basis) bis 5 (Spitze) zerbrochen ist (Photo: P. Pfarr).

Fähigkeiten vorausschauenden planenden Denkens und Handelns. Zudem sind hier Fernwaffen anscheinend gezielt ausschließlich auf Pferde, auf schnelles flüchtiges Herdenwild eingesetzt worden, eine Jagdtechnik und -spezialisierung, für die es aus dem Altpaläolithikum bislang keine Nachweise gab.

Des weiteren bezeugen die in Schöningen geborgenen unterschiedlichen Geräte aus Holz, vor allem die Wurfspeere und die daran ablesbaren, hervorragenden technischen Fertigkeiten in den einzelnen Bearbeitungsschritten dieses Rohstoffes von seiner Auswahl bis hin zu seiner Nutzanwendung nicht nur ein großes handwerkliches Geschick in der Holzbearbeitung. Der hohe Entwicklungsstand dieser ballistisch ausbalancierten Fernwaffen läßt zugleich auch auf eine lange Tradition in der Verwendung derartiger Geräte schließen und unterstreicht die Tragweite der Schöninger Entdeckungen.

### Literatur

- BINFORD, L. R. (1981): *Bones: Ancient men and modern myths*. – New York/London.  
 DENNELL, R. (1997): The world's oldest spears. – *Nature* 385: 767–768.  
 GAMBLE, C. (1987): Man the Shoveler. In: O. Soffer (Hrsg.), *The Pleistocene Old World. Regional Perspectives*. New York. 81–98.

- KOLFSCHOTEN, T. VAN (1993): Die Vertebraten des Interglazials von Schöningen 12. – Ethnogr.-Arch. Zeitschr. 34: 623–628.
- MANIA, D. (1995): Die geologischen Verhältnisse im Gebiet von Schöningen. In: H. Thieme u. R. Maier, Archäologische Ausgrabungen im Braunkohlentagebau Schöningen, Landkreis Helmstedt. Hannover. 33–43.
- SCHOCH, W. H. (1995): Hölzer aus der Fundschicht 1 des altpaläolithischen Fundplatzes Schöningen 12 (Reinsdorf-Interglazial). In: H. THIEME & R. MAIER, Archäologische Ausgrabungen im Braunkohlentagebau Schöningen, Landkreis Helmstedt. Hannover. 73–84.
- THIEME, H. (1995): Der altpaläolithische Fundplatz Schöningen 13 I (Holstein-Interglazial). In: H. THIEME & R. MAIER, Archäologische Ausgrabungen im Braunkohlentagebau Schöningen, Landkreis Helmstedt. Hannover. 57–61.
- DERS. (1996): Altpaläolithische Wurfspere aus Schöningen, Niedersachsen. – Ein Vorbericht –. – Arch. Korrb. 26: 377–393.
- DERS. (1997): Lower Palaeolithic hunting spears from Germany. – Nature 385: 807–810.
- THIEME, H. & MAIER, R. (1995): Archäologische Ausgrabungen im Braunkohlentagebau Schöningen, Landkreis Helmstedt. – Hannover. 191 S.
- THIEME, H., MANIA, D., URBAN, B. & KOLFSCHOTEN, T. (1993): Schöningen (Nordharzvorland). Eine altpaläolithische Fundstelle aus dem mittleren Eiszeitalter. – Arch. Korrb. 23: 147–163.
- URBAN, B. (1995): Palynological evidence of younger Middle Pleistocene Interglacials (Holsteinian, Reinsdorf and Schöningen) in the Schöningen open cast lignite mine (eastern Lower Saxony, Germany). – Meded. Rijks Geol. Dienst 52: 175–186.

---

Dr. Hartmut Thieme  
Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege  
Scharnhorststr. 1 · D-30175 Hannover

CLAUS-ARTUR SCHEIER, Braunschweig

**Die Metaphysik und der Motor (Kurzfassung)**

Braunschweig, 12.02.1999\*

Durch dreierlei hat sich, bis vor kurzem wenigstens, die europäische Kultur von allen andern Weltkulturen unterschieden: 1) durch ihre Technik, 2) die von dieser untrennbare Wissenschaft und 3) durch die Denkweise, der sie beide entsprangen und mit der sie seit ihrer Entstehung in einem Prozeß permanenter Innovation begriffen sind. Der Betrachter der europäischen Denkgeschichte mag in dieser Dreiheit die Konfiguration der seit Augustinus traditionellen dreifältigen Bestimmung des Prinzips oder „ersten Anfangs von allem“ wiedererkennen, nämlich *potentia*, *scientia* und *voluntas*: Macht, Wissen und Wille. So voreilig es wäre, die ungefähr dreitausendjährige Verwandlungsgeschichte jedes dieser Begriffe bloß als eine lose Folge von Homonymien ansehen zu wollen – nicht minder abträglich für die geschichtliche Einsicht und so auch für die Erkenntnis unsrer eignen Gegenwart wäre es, an der ihrerseits nicht neuen Überzeugung festhalten zu wollen, es handle sich substantiell um Konstanten, deren ganze Geschichtlichkeit im bloßen Wechsel akzidenteller Varianten bestehe.

Allerdings war das europäischen Denken von Anfang an aufmerksam auf das Phänomen der Bewegung, weil zuletzt auf die Zeit selbst. Denn die im sechsten vorchristlichen Jahrhundert entstehende Philosophie suchte die Antwort auf die Frage nach der nicht erst seit dem 19. Jahrhundert keineswegs selbstverständlichen Unsterblichkeit der Seele in der Anschauung des bewegten Alls, verwandelte dadurch den *mythos* (der Vergangenheit) in den *logos* (der Gegenwart) und legte so den Grund für eine erstmalige Selbstbestimmung von Wissenschaft (*epistêmê*). Aristoteles, der in der Folge die bisherige *Naturkunde* als *Naturwissenschaft* begründete, bestimmte die Natur überhaupt aus der Bewegung, für die er vier Arten unterschied: 1) Entstehen und Vergehen, 2) qualitative 3) quantitative und 4) Orts-Veränderung. Die Sache dieser Naturwissenschaft war das Wahrnehmbare, dessen Ursache die Natur ist und d. h. alles selbständige in diesen Weisen Bewegte. Während also die natürlichen Körper das Prinzip der Bewegung, ihren „Motor“, als die Natur in sich selbst haben, ist er für die Artefakte der handwerklich tätige Mensch. Und da dieser Beweger selber ein Naturprodukt ist, galt für Aristoteles, daß auch Artefakte virtuelle Naturprodukte sind.

Das blieb bestimmend für die *Metaphysik*, die darum in all ihren Epochen das menschliche Produzieren zuletzt stets vom göttlichen Produzieren als vom produktiven Grund der Natur her dachte. Als Arbeit war das menschliche Produzieren durch Werkzeuge gestützte *Handarbeit*, und Handarbeit ist das Formieren eines (für sich schon fertigen) Naturprodukts als dessen Zurichten für die Bedürfnisse des menschlichen Ge- und Verbrauchs.

---

\* Vortrag vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft



Meta-Physik in diesem Sinn war die Wissenschaft innerhalb des Horizonts und unter Voraussetzung einer Natur, in deren Hervorgebrachtes, nicht aber in deren Hervorbringen das menschliche Herstellen eingreifen konnte. Und da Handarbeit, angewiesen auf die natürliche Umwelt, wesentlich ortsgebunden ist, war Metaphysik auch jederzeit eine Lehre vom natürlichen Ort, Oben und Unten, Drinnen und Draußen usw.

Die moderne oder technische Produktion kündigt mit der industriellen Revolution im Übergang von 18. zum 19. Jahrhundert dies Paradigma auf, indem Natur, einschließlich des die Maschinen entwickelnden und bedienenden Menschen, jetzt im ganzen zum *Material* der Bearbeitung wird und in der Entwicklung der maschinellen Produktionsmittel nur noch als Moment unter anderen gilt. Voraussetzung hierfür war die auf dem entwickeltsten Stand der manufakturiellen Produktion des 18. Jahrhunderts erfolgende Erfindung des Motors im heutigen Sinn. 1784, drei Jahre nach dem Erscheinen von Kants „Kritik der reinen Vernunft“, meldete James Watt die sog. doppelt wirkende Dampfmaschine als Patent an. An sich ist dies bereits das Geburtsdatum der allerdings erst im gegenwärtigen Übergang von der industriellen zur medialen Moderne zum vollen Austrag kommenden „Globalisierung“, da hiermit, wie bereits Karl Marx bemerkt hat, die Ortsgebundenheit der natürlichen Produktionsweise getilgt ist.

Entsprechend ist der Naturbegriff des 19. Jahrhunderts alsbald nicht mehr zu vereinbaren mit dem metaphysischen Naturbegriff, wie er sich in den Systemen des deutschen Idealismus vollendete. Und wie in der Physik an die Stelle des „klassischen“ Begriffs der Kraft (*vis*, *conatus*) der der Arbeit bzw. der gespeicherten Arbeit oder Energie tritt, ist in der maschinellen Produktion nicht nur das Zwischenprodukt, die Maschine, gespeicherte Arbeit, sondern vor allem das Endprodukt, die *Ware*, die dadurch einen geschichtlich radikal neuen Status erhält, den ihr auch von der avancierten zeitgenössischen Dichtung (Poe, Baudelaire usw.) angesehenen „Fetischcharakter“. Mit dieser keineswegs nur sozialen, sondern in ihren Konsequenzen bis in das religiöse Denken der Zeit reichenden Transformation des Wesens des Produkts geht einher eine nicht minder radikale Transformation der Logik, die ihren prägnantesten und fruchtbarsten Ausdruck in Gottlob Freges „Begriffsschrift“ (1879) findet.

In ihrer frühesten, vorsokratisch-platonischen Gestalt war die Logik konzipiert worden als eine Logik der Natur und so der natürlichen Produktivität. Der Produzent als Subjekt war zusammengeschlossen mit dem Produkt als seinem Prädikat durch die Mitte der Produktion selbst als der Copula (das „Sein“), die darum als die Natur und tiefer als deren Grund, Gott (das *primum movens*), gedacht werden konnte. Dies Verhältnis der (natürlichen) Kraft und ihrer Äußerung zerfällt, wenn die Produktivität von der Maschine gleichsam „geschluckt“ wird. Indem Produzent und Produkt dann nämlich nicht mehr die entgegengesetzten Bezogenen der Einen Produktionsbeziehung sind, erweist sich ihre Logik als die eines *Tertium non datur*, als eine - nicht metaphysisch-systematische Triplizität, sondern - diastematische Dualität, die von Franz Brentano und Edmund Husserl für das nachmetaphysische Bewußtsein als Intentionalität und von Gottlob Frege als Funktion gefaßt werden wird. In der Fregeschen Logik erscheint jene Identifikation von Produktion und Produkt als die von Copula und Prädikat in der Funktion, deren Argument nunmehr das vormalige Subjekt ist. Daß diese intentionale Logik die der technischen Lebenswelt



angemessene war, in der nicht länger der Mensch selbst "Motor" seiner Kultur ist, hat zwar eine bis zu Arthur Schopenhauer zurückreichende Vorgeschichte, wurde aber bezeichnenderweise erst nach Friedrich Nietzsches Versuch, die Produktivität der "Seele" zurückzugewinnen, am Vorabend des ersten Weltkriegs deutlich. Seither hat sich die Technik und mit ihr die Selbstbestimmung des modernen Menschen abermals auf eine noch keineswegs durchgedachte Weise verwandelt. Dies wird deutlich im Blick auf die vier Hauptphasen der technischen Aus-einander-setzung von Mensch und Natur:

- 1) Die Zeit des handwerklichen Eingebundenseins der menschlichen Produktivität in die Natur: die Produktivität wird meta-physisch gedacht;
- 2) die Zeit des Gegenüber von Natur und (maschineller) Technik: diese wird selber noch von ihrem natürlichen Ursprung her verstanden (das 19. Jahrhundert bis zu Nietzsche einschließlich);
- 3) die Zeit der offenkundig gewordenen Herrschaft der Technik: Natur und Mensch sind jetzt deren Material, d. h. die Technik wird „heroisch“ übernommen, insofern sich der Mensch, ihr Täter, zugleich als ihr Opfer weiß (1. Hälfte des 20. Jahrhunderts);
- 4) die Zeit der Ablösung der Technik von Natur und Mensch, im negativen Sinn: Verwüstung der Erde, globale Arbeitslosigkeit, Verschwinden aller natürlich-traditionellen Unterschiede; im positiven Sinn: Verwandlung der Natur in Wohn-Welt, Aufhebung der existenziellen Arbeitsteiligkeit – der Sklaverei in ökonomischer Gestalt –, universale Kommunikation (seit der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts).

Von den Werkzeugen her gedacht:

- 1) mechanische Geräte,
- 2) Dampfmaschinen,
- 3) elektrische Apparate,
- 4) elektronische Rechner.

Der entscheidende geschichtliche Unterschied ist der von metaphysisch gedachter und technischer Produktion: Das Modell der metaphysisch gedachten Produktion ist die (angesehene) Natur, während die technische Produktion selber zum Modell der Naturdeutung wird.



JOACHIM KLEIN, Braunschweig

**„Kunststoffe – eine Leistung der Chemie mit Zukunft“**

Braunschweig, 12.03.1999\*

Betrachtet man die Entwicklung, welche die Kunststoffe in den vergangenen Jahrzehnten genommen haben, so ist diese Wachstumsdynamik ohne Zweifel das beste Zeichen für eine Erfolgsgeschichte. Mit einer jährlichen Wachstumsrate von 5-7 % weltweit verlassen heute ca. 120 Millionen t pro Jahr die Fabrikstore und finden ihren Weg in einen immer breiter werdenden Markt. Im seltsamen Gegensatz zu dieser offensichtlichen Nachfrage steht das öffentliche Image, das diese Stoffklasse begleitet, wobei die unübersehbaren Müllhalden oder ein Brand unter angeblicher PVC-Beteiligung eher das Bild bestimmen als technische Hochleistungen im Automobil oder in der Medizintechnik. Angesichts dieses Widerspruchs scheint es geboten, aus wissenschaftlicher Sicht eine rationale Analyse zur Zukunft der Kunststoffe vorzunehmen und dabei die Leistung der Chemie in den Mittelpunkt zu stellen – denn es sind im Grundsatz die Entdeckungen und Erfindungen von Chemikern in der Wissenschaft und Industrie, welche den Siegeszug der Kunststoffe ermöglicht haben.

Die Kunststoffe sind ein Produkt des 20. Jahrhunderts. So wie andere Werkstoffklassen in der kulturgeschichtlichen Entwicklung der Menschheit – von der Keramik der Steinzeit, über die Bronzezeit und die Eisenzeit – eine entscheidende Rolle gespielt haben, so dominieren heute die Kunststoffe den technischen und zivilisatorischen Fortschritt in vielen Lebensbereichen im privaten und industriellen Umfeld. Tabelle 1 zeigt deutlich, wie sich die industrielle Produktion, besonders im Zeitraum 1930-1960 aus stofflicher Sicht entwickelt hat.

Die Makromolekulare Chemie liefert die wissenschaftlichen Grundlagen, wenn es um die chemische Synthese dieser Stoffe geht und gemeinsam mit der Physik der Polymere werden die Zusammenhänge aufgeklärt, die zwischen der Struktur und den Eigenschaften der Polymere bestehen. Das Prinzip dieser Chemie ist die Verknüpfung weniger Grundbausteine, der sogenannten Monomere, zu den Polymeren, die dann aus  $10^2$  bis  $10^5$  dieser Wiederholungseinheiten bestehen. Die chemische Verknüpfung kann dabei in ein-, zwei- oder dreidimensionaler Form erfolgen, und aus dieser Basis – Struktur leiten sich bereits wichtige Eigenschaften wie Schmelzbarkeit, Dehnfähigkeit oder Härte ab. Werkstoffeigenschaften sind aber nicht nur Eigenschaften eines Einzelmoleküls, sondern in noch stärkerem Maße von der Überstruktur der Moleküle im Verbund geprägt. Da die Fähigkeit der übermolekularen Organisation natürlich auch von der Primärarchitektur der Moleküle bestimmt wird, kommt der Kontrolle der makromolekulare Synthese, besonders auch in der großtechnischen Dimension, eine besondere Bedeutung zu.

---

\* Kurzfassung eines Vortrages vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Tabelle 1: Kunststoffe als Chemie-Produkte (Historische Entwicklung)

Polymer	Entdeckung	Produktion
Phenol-Harz/Bakelit	1907	1910
Methylkautschuk	1912	1915
Polymethylmethacrylat/Plexiglas	1888	1928
Polybutadien/Buna	1911	1929
Polyvinylacetat	1912	1930
Polystyrol	1839	1930
PVC	1838	1931
Polyamide/Nylon	1934	1938
Polyethylen/Hochdruck	1933	1938
Polyurethan	1937	1940
Silicon	1901	1942
Epoxide	1938	1946
Teflon	1939	1950
Polyester/Trevira	1941	1953
Polyethylen/Niederdruck	1953	1955
Polypropylen/Isotaktisch	1954	1957
Polypropylen/Syndiotaktisch	1990	2000

Eine interessante Entwicklung besteht in den letzten Jahren darin, dass die Suche nach absolut neuen chemischen Strukturen in der Polymersynthese deutlich an Gewichtung verloren hat gegenüber Anstrengungen, aus lange bekannten Monomeren Polymere mit neuer Primärarchitektur herzustellen und damit auf neue Einsatzgebiete vorzudringen. Die Entdeckung der sogenannten Metallocen-Katalyse zur Synthese von Polyolefinen ist dafür das prominenteste Beispiel. Die Tatsache, dass der Entdeckung dieser Katalysatoren in den 80er Jahren bereits Ende der 90er Jahre die Produktion neuer Polypropylen-Produkte folgt, ist ein Beleg für den Erfolg dieser Strategie. Gerade am Beispiel des Polypropylens läßt sich somit zeigen, welche hervorragenden Möglichkeiten der Chemiker besitzt, durch gezielte Einflußnahme auf dem Syntheseweg aus einem einfachen petrochemischen Grundbaustein unterschiedlichste Werkstoffe mit hohem Leistungsanspruch und hoher Wertschöpfung zu gewinnen.

Betrachtet man das Anwendungsfeld der Kunststoffe als Werkstoffe, so müssen sich diese organischen Stoffe im Wettbewerb mit metallischen und keramischen Werkstoffen bewähren. Wesentliche Vorteile bestehen in dem geringeren spezifischen Gewicht und einer in der Regel leichten Verformbarkeit bei höchsten Ansprüchen an Formgebung und Maßhaltigkeit. Nachteile sind dann zu erwarten, wenn spezielle Leistungsanforderungen, z. B. hinsichtlich thermischer Belastbarkeit, elektrischer Leitfähigkeit oder optischer Transparenz zur Diskussion stehen. Aber in fast allen diesen

Aspekten ist es gelungen, mit dem Produkt Kunststoff in klassische Anwendungsbereiche der Metalle und der Keramik vorzudringen.

So sind im Fahrzeugbau, vom Automobil über den Schienenverkehr bis hin zum Flugzeugbau, die Kunststoffanteile im Gesamtprodukt stetig im Vormarsch und Faserverbundwerkstoffe tragen dazu wesentlich bei. Nur durch die mit Kunststoffeinsatz verbundene Gewichtsersparnis lassen sich die zu fordernden hohen Transportleistungen bei rückläufigem Energieverbrauch realisieren.

In der Elektronik und in der Informations- und Kommunikationstechnik sind Kunststoffe das bestimmende Werkstoffelement, wobei neben den mechanischen Eigenschaften Aspekte der Displaytechnik, der Datenspeicherung und der Datenübermittlung im Vordergrund stehen.

Ein besonders „hautnaher“ Bereich der Kunststofftechnik ist die Medizintechnik, wo es zum einen um Apparate der medizinischen Versorgung – bis hin zur Kunststoffmembran in der künstlichen Niere – geht und zum anderen Kunststoffe, die als Implantate unmittelbar Einsatz im menschlichen Körper, z. B. als Gelenkersatz oder künstliche Herzklappe finden. Gerade diese Einsatzgebiete machen wohl deutlich, welche hohen Ansprüche an die Fertigungstechnik einerseits und an die Produktqualität bei einer langjährigen Dauerbelastung zu stellen sind: Die Kunststoffchemie stellt sich diesen Problemen bereits mit guten Erfolgen, auch wenn es noch eine Vielzahl ungelöster Probleme gibt.

Jeder Werkstoff hat nur eine begrenzte Nutzungsdauer und wird irgendwann zum Abfall – insofern unterscheidet den Kunststoffabfall nichts vom Metall. Der „Autoschrott“, auch wenn er sich in der Vorstadt auftürmt, scheint etwas ganz Normales, während der Kunststoff-Müll eher als Zivilisationskrankheit verurteilt wird. Unsere Abfallsammelsysteme, die im besten Fall einen „Kreislauf“-Kunststoff hervorbringen, der viermal teurer ist als ein vergleichbares neues Produkt am Fabrikstor, ist ein Ergebnis dieser Denkweise und die Antwort der Politik.

In einem ausgewogenen Umgang mit dem Problemkreis „Polymere und Umwelt“ kann man auf der einen Seite das System der Entsorgung von Kunststoffen optimieren und dabei der energetischen Verwertung einen unvoreingenommenen Stellenwert zuweisen. Dies schließt natürlich sinnvolle Ansätze der werkstofflichen Wiederverwertung nicht aus.

Ein anderer Ansatz ist eine neue Herausforderung an die Chemie, nämlich die Entwicklung neuer Werkstoffe, die z. B. biologisch abbaubar sind und so nach der Nutzung über Kompostierung entsorgt werden können. Einige Produkte auf der Basis von Polyestern und Polyamiden sind inzwischen auf dem Markt, auch Produkte auf der Basis nachwachsender Rohstoffe können hier interessante Einsatzgebiete erschließen. Die Schlüssigkeit dieses Konzepts ist aber nicht allein eine Frage an die chemische und technische Machbarkeit, sondern wiederum eine Frage an den Gesetzgeber, und solange die Entsorgung dieser Polymerprodukte in einer Biotonne verboten bleibt, wird der biologisch abbaubare Kunststoff eine Pflanze ohne Wachstum bleiben.

Unabhängig von diesem Problem, die häufig auch hausgemachte Probleme nationaler Gesetzgebung sind, sind die Kunststoffe weltweit Werkstoffe und Wirkstoffe

mit Zukunft. In Qualität und in Quantität heute schon auf hohem Niveau wird die Chemie zur Zukunft dieser Stoffklasse weitere wertvolle Beiträge leisten, deren Nutzen wir in vielen Anwendungsbereichen erfahren werden.

---

Prof. Dr. rer.nat. Joachim Klein  
Hühnerkamp 21,  
D-38104 Braunschweig

K. HULEK, Hannover

**Das Ikosaeder**

Braunschweig, 16.04.1999\*

**1. Die platonischen Körper**

Ein *regulärer* (oder *platonischer*) Körper ist ein 3-dimensionaler kompakter, konvexer Polyeder, dessen Seitenflächen alle zueinander kongruente reguläre  $n$ -Ecke sind. Hiervon gibt es genau 5 Stück, nämlich Tetraeder, Würfel (Hexaeder), Oktaeder, Dodekaeder und Ikosaeder, die ihre Namen aus der Anzahl der Seitenflächen ableiten. Diese Tatsache war bereits den griechischen Mathematikern bekannt und geht vermutlich auf Theaetetus (415-369 v. Chr.) zurück. In den Elementen von Euklid wird diese Klassifikation in Buch XIII hergeleitet und stellt einen der Höhepunkte dieses Werkes dar.

Plato (427-347 v. Chr.) verwendete die regulären Körper, um in seinem Dialog Timaios zum ersten Mal eine mathematische Theorie physikalischer Prozesse zu versuchen. Er ordnete den vier Körpern Tetraeder, Würfel, Oktaeder und Ikosaeder die Elemente Feuer, Erde, Luft und Wasser zu. Dem Dodekaeder entspricht in dieser Theorie das Universum. Die Seitenflächen der erstgenannten Körper lassen sich aus Dreiecken mit den Winkeln  $(\pi/2, \pi/3, \pi/6)$  bzw.  $(\pi/2, \pi/4, \pi/4)$  zusammensetzen. Plato benutzt dann die Geometrie dieser Dreiecke, um „chemische Reaktionen“ zwischen den Elementen herzu-leiten.

Fast 2000 Jahre später benutzte Kepler die regulären Körper in einem Versuch, die Verhältnisse der Radien der verschiedenen Planetenbahnen zu erklären. Die damals bekannten Planeten waren Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn. Kepler betrachtete dann eine Folge konzentrischer Sphären, so daß je zwei benachbarte Sphären einem regulären Polyeder ein- bzw. umbeschrieben sind. Und zwar ordnete Kepler die Polyeder von innen nach außen wie folgt an: Oktaeder, Ikosaeder, Dodekaeder, Tetraeder und Würfel. Legt man den Radius der Umlaufbahn der Erde als 1 fest, so ergeben sich für die Umlaufbahnen von Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn die Zahlen 0,43, 0,76, 1,44, 5,26 und 9,16. Dies kommt den tatsächlichen Verhältnissen erstaunlich nahe. Natürlich ist diese Theorie insofern hinfällig, als die Planetenbahnen, wie Kepler selbst entdeckt hat, nicht Kreise sondern Ellipsen sind.

Reguläre Körper können auch in der Natur beobachtet werden, so bei der Kristallbildung oder bei Calcitgerüsten gewisser Algen. Kappt man die Ecken eines Ikosaeders, so entsteht ein Polyeder mit 60 Ecken. Diese Anordnung entspricht in etwa der Geometrie des  $C_{60}$ -Moleküls (Curo, Curl und Smalley, Chemie Nobelpreis 1996).

---

\* Vortrag vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

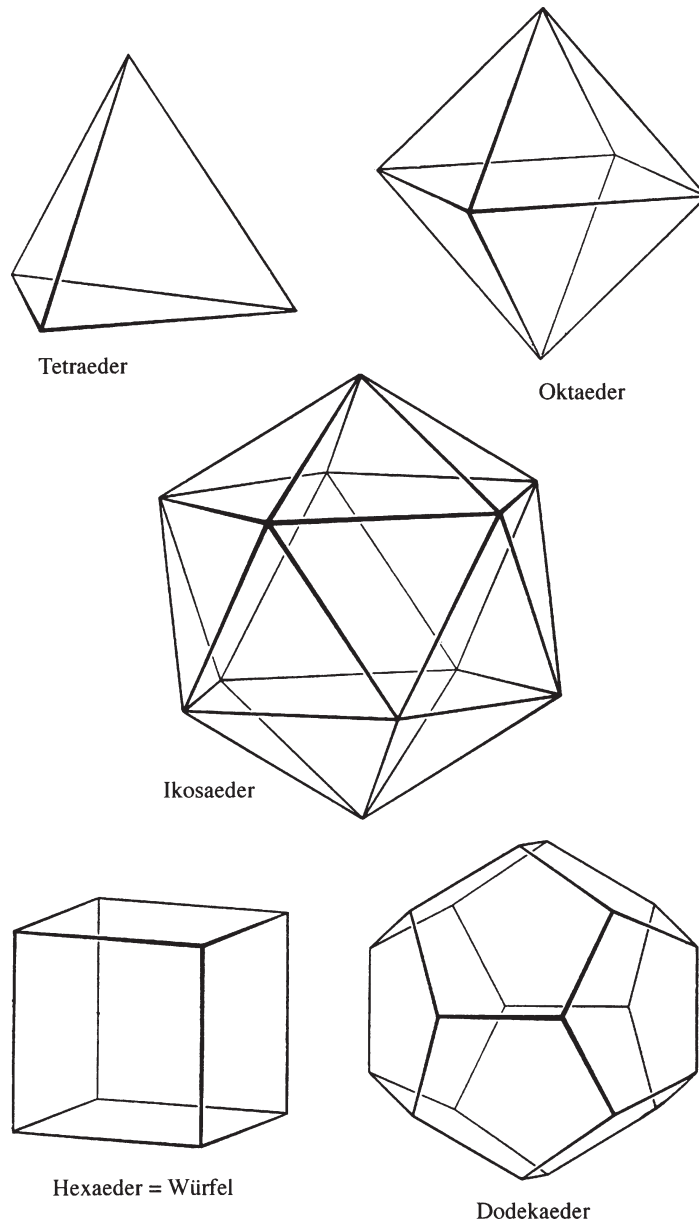


Abb. 1: Die platonischen Körper



## 2. Das Ikosaeder und die Gleichung fünften Grades

Eine quadratische Gleichung der Form

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad (a, b, c \text{ reell, } a \neq 0)$$

kann stets durch die Formel

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

gelöst werden. Ist  $b^2 - 4ac > 0$ , so gibt es zwei reelle Lösungen, ist  $b^2 - 4ac = 0$ , so gibt es eine reelle Lösung und ansonsten zwei zueinander konjugierte komplexe Lösungen. Entsprechende Lösungsformeln existieren für Gleichungen dritten und vierten Grades (Scipio del Ferro, Ferrari, Tartaglia, Cardano). Das gesamte 18. Jahrhundert hindurch haben Mathematiker nach analogen Formeln für Gleichungen fünften und höheren Grades gesucht, waren aber nur in Spezialfällen erfolgreich. Dies hat einen prinzipiellen Grund. Abel (1802-1829) und Galois (1811-1832) haben nämlich gezeigt, daß im allgemeinen eine Gleichung vom Grad  $n \geq 5$  nicht explizit durch elementare Rechenoperationen und sukzessives Wurzelziehen gelöst werden kann. Ist man aber bereit, eine transzendente Funktion hinzuzunehmen, so kann man mit Hilfe des Ikosaeders die Gleichung fünften Grades lösen. Dies wird in dem berühmten Buch „Vorlesungen über das Ikosaeder“ von Felix Klein [K] dargestellt. Eine Neuauflage dieses Werkes mit Kommentaren von P. Slodowy [KS] erschien 1993.

Mit Hilfe der stereographischen Projektion kann man die Sphäre  $S^2$  mit der komplexen projektiven Geraden  $\mathbb{P}_\mathbb{C}^1$  identifizieren. Man kann das Ikosaeder so in die Sphäre einbeschreiben, daß unter dieser Identifikation die 12 Ecken des Ikosaeders gerade auf die 12 Punkte

$$\{0, \infty, \varepsilon^\kappa(\varepsilon^2 + \varepsilon^3), \varepsilon^\kappa(\varepsilon + \varepsilon^4); \kappa = 0, \dots, 4\} \quad (\varepsilon = e^{2\pi i/5})$$

abgebildet werden. Die *Ikosaedergruppe*  $G$  ist die Gruppe aller Drehungen im Raum, die ein Ikosaeder in sich selbst abbilden. Diese Gruppe besteht aus 60 Elementen und ist isomorph zur Gruppe  $A_5$ , der alternierenden Gruppe von 5 Elementen. Mittels der stereographischen Projektion operiert  $G$  auch auf  $\mathbb{P}_\mathbb{C}^1$  und damit auf der Algebra der homogenen Polynome in zwei Variablen. Man kann dann zeigen, daß der Ring der invarianten Polynome von drei Polynomen erzeugt wird, und zwar von

$$\begin{aligned} f &= z_1 z_2 (z_1^{10} + 11 z_1^5 z_2^5 - z_2^{10}) \\ H &= -(z_1^{20} + z_2^{20}) + 228(z_1^{15} z_2^5 - z_1^5 z_2^{15}) - 494 z_1^{10} z_2^{10} \\ T &= (z_1^{30} + z_2^{30}) + 522(z_1^{25} z_2^5 - z_1^5 z_2^{25}) - 10005(z_1^{20} z_2^{10} + z_1^{10} z_2^{20}). \end{aligned}$$

Dies sind gerade die Polynome, deren Nullstellen die Eckpunkte (bzw. Seitenmittelpunkte, bzw. Kantenmittelpunkte) des Ikosaeders sind. Diese drei Polynome erfüllen eine Relation, nämlich

$$T^2 = -H^3 + 1728f^5. \quad (1)$$

Der Quotient  $\mathbb{P}_{\mathbb{C}}^1/G$  ist wiederum isomorph zu  $\mathbb{P}_{\mathbb{C}}^1$  und die Quotientenabbildung

$$q : \mathbb{P}_{\mathbb{C}}^1 \rightarrow \mathbb{P}_{\mathbb{C}}^1/G \cong \mathbb{P}_{\mathbb{C}}^1$$

kann explizit durch

$$q(z) = \frac{H(z,1)^3}{1728f(z,1)^5}$$

beschrieben werden. Die Bedingung  $q(z) = u$  entspricht dann der folgenden Gleichung vom Grad 60:

$$((z^{20} + 1) - 228(z^{15} - z^5) + 494z^{10})^3 + 1728u z^5(z^{10} + 11z^5 - 1)^5 = 0,$$

die man die *Ikosaedergleichung* nennt. Die Ikosaedergleichung kann nun mit Hilfe von transzendenten Funktionen gelöst werden. Hierzu kann man entweder hypergeometrische Funktionen oder Periodenintegrale verwenden.

Um die allgemeine Gleichung fünften Grades zu lösen, geht Klein dann wie folgt vor. Zunächst kann man eine solche Gleichung mittels einer Tschirnhausentransformation in die Form einer „Hauptgleichung“

$$y^5 + ay^2 + by + c = 0 \tag{2}$$

bringen. Für die fünf Lösungen  $y_1, \dots, y_5$  dieser Gleichung bedeutet dies dann, daß sie die Gleichungen

$$\sum_{i=1}^5 y_i = \sum_{i=1}^5 y_i^2 = 0$$

erfüllen. Geometrisch bedeutet dies gerade, daß der Punkt  $(y_1 : \dots : y_5) \in \mathbb{P}_{\mathbb{C}}^4$  auf einer Quadrik  $Q \subset \mathbb{P}_{\mathbb{C}}^4$  liegt. Eine solche Quadrik  $Q$  ist eine rationale Fläche und isomorph zu  $\mathbb{P}_{\mathbb{C}}^1 \times \mathbb{P}_{\mathbb{C}}^1$ . Klein gibt mit Hilfe der oben eingeführten Funktionen  $f$  und  $T$  einen expliziten Isomorphismus

$$\eta : \mathbb{P}_{\mathbb{C}}^1 \times \mathbb{P}_{\mathbb{C}}^1 \rightarrow Q \subset \mathbb{P}_{\mathbb{C}}^4$$

an.

In Abhängigkeit der Koeffizienten  $a, b, c$  der Gleichung (2) bestimmt Klein nun einen Punkt  $\beta \in \mathbb{P}_{\mathbb{C}}^1$  für den er die Ikosaedergleichung  $q(z) = \beta$  betrachtet. Diese Gleichung kann mit Hilfe transzendenter Methoden gelöst werden. Ferner bestimmt Klein Zahlen  $m, n$ , die durch rationale Funktionen aus den Koeffizienten  $a, b, c$  von (2) berechnet werden können. Damit erhält er einen Punkt

$$(y_1 : \dots : y_5) = \eta((z : 1), (m : n))$$

aus denen leicht die Lösungen von (2) bestimmt werden können.

### 3. Ausblick

Das Ikosaeder spielt nicht nur bei der Lösung der Gleichung fünften Grades eine besondere Rolle. So führt etwa die Relation (1) auf die Gleichung

$$x^2 + y^3 + z^5 = 0,$$

welche die Ikosaedersingularität definiert. Hier ergibt sich ein Zusammenhang zur Liealgebra  $E_8$ . Ein besonders spektakuläres Objekt, das mit der Ikosaedergruppe auf engste verknüpft ist, ist das *Horrocks-Mumford Bündel*  $\mathcal{F}$ . Es wurde 1972 konstruiert und ist bisher (abgesehen von trivialen Konstruktionen) immer noch das einzige bekannte nicht-spaltende Rang 2 Vektorbündel auf  $\mathbb{P}_{\mathbb{C}}^4$ . Es zeichnet sich dadurch aus, daß es eine Symmetriegruppe der Ordnung 15.000 besitzt. Für nähere Einzelheiten sei auf [HM], [H1], [H2] verwiesen.

### Literatur

- [HM] G. HORROCKS, D. MUMFORD: A rank 2 vector bundle on  $\mathbb{P}^4$  with 15,000 symmetries. *Topology* **12** (1973), 63–81.
- [H1] K. HULEK: Elliptische Kurven, abelsche Flächen und das Ikosaeder. *Jber. d. DMV* **91** (1989), 69–85.
- [H2] K. HULEK: The Horrocks-Mumford bundle. In: *Vector bundles in Algebraic Geometry* (N.J. Hitchin, P.E. Newstead, W.M. Oxbury eds). *LMS Lecture notes* **208**, 139–177. Cambridge University Press, Cambridge 1995.
- [K] F. KLEIN: *Vorlesungen über das Ikosaeder und die Auflösung der Gleichungen vom fünften Grade*, Teubner Verlag, Leipzig 1884.
- [KS] F. KLEIN: *Vorlesungen über das Ikosaeder und die Auflösung der Gleichungen vom fünften Grade*. Herausgegeben mit einer Einführung und mit Kommentaren von P. Slodowy, Birkhäuser Verlag, Basel 1993.
- [S] P. SLODOWY: Platonic solids, Kleinian singularities and Lie groups. In: *Algebraic Geometry*, ed. I. Dolgachev, *Springer Lecture Notes in Mathematics* **1008**, 102–138, Springer Verlag, Berlin 1983.

---

Prof. Dr. rer. nat. K. Hulek  
 Institut für Mathematik · Universität Hannover  
 Welfengarten 1 · D-30060 Hannover



WOLFGANG STAHL, Hannover

## **Die Klimaentwicklung – Gedanken aus der Sicht eines Geowissenschaftlers.**

Braunschweig, 21.05.1999\*

Neuere wissenschaftliche Untersuchungen zur Entwicklung des Erdklimas über die zurückliegenden geologischen Zeiträume haben überraschende Kenntnisse erbracht:

- Kalt- und Warmzeiten haben häufig gewechselt. Kaltzeiten haben im Quartär insgesamt etwa 10 mal länger als die Warmphasen gedauert. Warmzeiten, wie unser heutiges Klima, sind über geologische Zeiträume selten.
- Kaltzeiten können auch dann auftreten, wenn der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre höher als die heutige CO<sub>2</sub>-Konzentration ist.
- Die Kopplung zwischen vorauslaufendem Kohlendioxidanstieg in der Atmosphäre und nacheilender Erhöhung der Oberflächentemperatur der Erde ist nicht immer gegeben. Auch die gegenteilige Beziehung ist aufzeigbar.
- Der Übergang zwischen Kalt- und Warmzeiten kann sehr schnell, d.h. in Zeitspannen von wenigen Jahrzehnten erfolgen.
- Belastbare Vorhersagen kurz- und mittelfristiger Klimaänderungen können wegen der Komplexität des Gesamtsystems derzeit noch nicht durch Modellprognosen erbracht werden. Langfristig sprechen astronomische und geowissenschaftliche Erkenntnisse jedoch eher für eine Abkühlung.

Geowissenschaftler haben auf Grund ihrer Kenntnisse um Klimaänderungen in der geologischen Vergangenheit wichtige Argumente zur Bewertung der gegenwärtigen Klimasituation. Die entscheidenden Klimafaktoren waren u.a. Änderungen der von der Erde aufgenommenen Sonnenenergie und Verschiebungen der Umlaufbahn der Erde um die Sonne. Über geologische Zeiten spielten plattentektonische Prozesse eine wichtige Rolle, die die Umgestaltung der Morphologie und der Land-Wasserverteilung mit Folgen für die Verwitterung, Meeresströmungen und Albedo bewirkten. Diese Klimafaktoren prägen die Oberflächentemperaturen der Erde, sind aber nicht durch den Menschen steuerbar. Nur bei den anthropogen bedingten Einwirkungen, z. B. beim Eintrag von Klimagasen in die Atmosphäre, besteht eine Steuerungsmöglichkeit.

Es stellt sich deshalb in der Klimadebatte die Frage, wie hoch diese anthropogen verursachte Änderung des Treibhauseffektes ist. Die Erde ist seit ihrer Entstehung von Treibhausgasen, beispielsweise Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan umgeben. Die Treibhausgashülle hat bewirkt, dass auf der Erde keine unwirtlichen –18° Celsius, sondern im globalen Mittel

---

\* Vortrag vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

+ 15° Celsius auftreten. Dieser natürliche Treibhauseffekt gestaltet unseren Lebensraum und bietet dem Menschen eine wichtige Grundlage seiner Existenz. Das insgesamt seit der Industrialisierung anthropogen eingebrachte Kohlendioxid hat den natürlichen Treibhauseffekt bisher um nur 1,2% erhöht. Dieser Prozentsatz vergrößert sich auf 2,1%, wenn nicht nur Kohlendioxid, sondern alle Treibhausgase in die Betrachtung eingehen. Die Zahlen lassen erkennen, dass von den Bemühungen um eine Verminderung des anthropogenen Kohlendioxidausstoßes nur geringe Auswirkungen auf das Klima erwartet werden dürfen. Deshalb muss bedacht werden, ob ein hoher Aufwand bei der Verminderung der anthropogen erzeugten Mengen an Kohlendioxid immer wirtschaftlich vertretbar ist. Diese Überlegung darf jedoch nicht zu einem ungehemmten Konsum fossiler Energie führen. Der Verbrauch fossiler Energieträger und damit die Emission von Kohlendioxid muss aus Gründen der Rohstoffvorsorge so klein wie möglich gehalten werden.

Diese Überlegungen sollten im politischen Raum bei Entscheidungen zwischen industrieller Entwicklung und Klimaschutz in die Argumentation mit dem Ziel einbezogen werden, vernünftige, umweltverträgliche und finanzierbare Maßnahmen realisierbar zu machen.

---

Prof. Dr. W. Stahl  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe  
Postfach 51 01 53 D-30631 Hannover

KLAUS SCHWERTDFEGER, Clausthal-Zellerfeld

## Neue Verfahren zur Herstellung von Flachprodukten aus Stahl

Braunschweig, 10.07.1999\*

Die unterschiedlichen Verfahrenslinien zur Erzeugung von Warmband sind in Bild 1 dargestellt. Normalerweise wird der Stahl zu einem ca. 250 mm dicken Strang abgossen, der nach der Erstarrung in Brammen von ca. 10 m Länge zerteilt wird, Bild 1a). Diese werden im Brammenlager gestapelt, abgekühlt, später in einem gasgeheizten Ofen wieder aufgeheizt und in einer achtgerüstigen Warmbreitbandstraße zu Warmband mit ca. 3 mm Dicke warmgewalzt. Da in der nächsten Zeit weltweit ein erheblicher Teil der heute betriebenen Warmbreitbandstraßen ersetzt werden muß, was mit hohen Investitionskosten verbunden ist, besteht ein großes Interesse an der Entwicklung von Verfahren zum endabmessungsnahen Gießen. Durch eine Reduzierung der

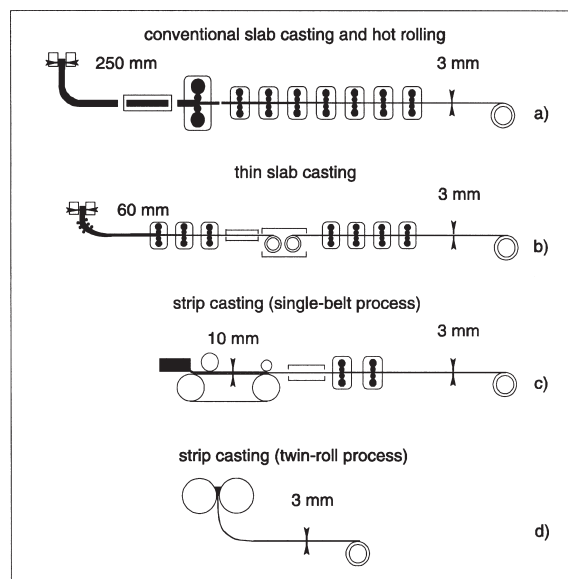


Bild 1: Verfahrenswege für die Herstellung von Warmband [4].

\* Erweiterte Kurzfassung eines Vortrages vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Gießdicke können Investitionskosten eingespart werden. Wenn mit dem neuen Verfahren ein ununterbrochener Materialfluß zwischen Gießmaschine und Warmwalzanlage erreicht werden kann, also Abkühlen und Wiederaufheizen vermieden werden, ergeben sich außerdem beträchtliche Energieeinsparungen und weniger Ausstoß von Kohlendioxid. Die neuen Verfahren reichen vom Dünnbrammenstrangguß, Bild 1b), über das Gießen von Vorband mit Dicken von ca. 10 mm, Bild 1c), bis zum Dünnbandgießen mit Dicken von ca. 3 mm oder darunter ohne nachgeschaltetes Warmwalzen.

An der Technischen Universität Clausthal wurde seit 1984 parallel mit Mannesmann-Demag AG Metallurgy (heute SMS Demag), ab 1995 mit Preussag Stahl AG (heute Salzgitter AG) und etwas später auch mit finanzieller Beteiligung der Thyssen Krupp Stahl AG der sogenannte Single-Belt Prozeß entwickelt, Bild 1c) [1-4]. Bei diesem Verfahren wird der flüssige Stahl über ein Zuführsystem auf ein umlaufendes, von unten gekühltes Band gefördert. Die Unterseite der aufgetragenen Stahlschicht erstarrt im Kontakt mit dem Band und die Oberseite als freie Oberfläche unter Schutzgas. Nach der Durcherstarrung läuft der Strang über eine Kühlstrecke und wird danach in-line, d.h. ohne Unterbrechung, warmgewalzt. In Clausthal wurde zunächst eine Laboranlage betrieben und ab 1995 eine Pilotanlage. Aufbau und Abmessungen sind aus Bild 2 ersichtlich. Ein Photo der Pilotanlage zeigt Bild 3. Bei dieser Anlage besteht das Walzwerk aus einem Duo. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, daß eine direkte Verbindung von Gießen und Warmwalzen ohne größere Schwierigkeiten möglich ist.

Der neue Prozeß hat die folgenden Vorteile.

- Es bestehen keine Produktivitätsprobleme wie beim Twin-Roll Prozeß, Bild 1d), bei dem sehr große Rollen benutzt werden müßten, um bei hohen Gießgeschwindigkeiten ausreichend lange Kontaktzeiten an den Rollen zu erreichen. Beim Single-Belt Prozeß braucht nur das Gießband verlängert zu werden, wenn die Gießgeschwindigkeit (Produktivität) erhöht werden soll, was wegen der horizontalen Bauweise prinzipiell ohne weiteres möglich ist.
- Das Gießen von Vorband mit ca. 10 mm Dicke ist durchführbar, wodurch das Verfahren auf Massentähle anwendbar wird, die ohne ein gewisses Maß von Warmverformung nicht kaltgewalzt werden können.
- Das Gießen unter Schutzgas ist möglich. Dadurch werden Materialverluste durch Zunderbildung vermieden.
- Es hat sich schon frühzeitig gezeigt, daß gute Produkteigenschaften erzielt werden können.

Das Verfahren hat deshalb hohes Potential für die industrielle Anwendung. Aber es bestehen auch Probleme. Das gegossene Vorband muß eine gleichmäßige Dicke haben. Die Kanten des Stranges müssen einwandfrei sein. Oberflächenfehler müssen vermieden werden, und der Reinheitsgrad muß gut sein. Auch muß eine industriell betriebene Maschine bei fünfmal höherer Gießgeschwindigkeit und dementsprechend



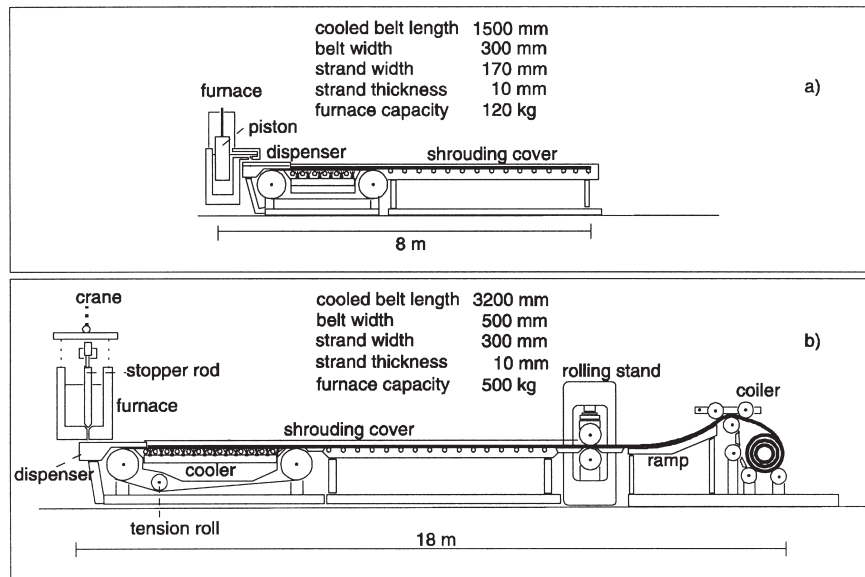


Bild 2: Single-Belt Gießmaschinen am Institut für Allgemeine Metallurgie in Clausthal.  
a) Laboranlage. b) Pilotanlage mit integriertem Warmwalzwerk [4].

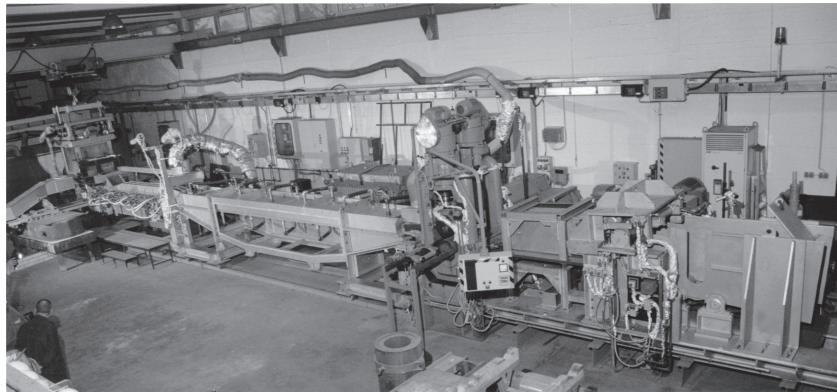


Bild 3: Pilotanlage für den Single-Belt Casting Process mit in-line Warmwalzen am Institut für Allgemeine Metallurgie in Clausthal [4].

viel größerer Länge (als bei der Clausthaler Pilotanlage) über viele Stunden ausreichend mechanische Stabilität aufweisen. Inwieweit diese Anforderungen erfüllbar sind, kann nur an einer Demonstrationsanlage im Produktionsmaßstab untersucht werden.

Einer der Hauptvorteile der Dünngießverfahren gegenüber dem konventionellen Stranggießen ist die bessere Integrierbarkeit von Gießen und Warmwalzen. Integrierte Linien Stranggießen/Warmwalzen haben neben dem schon erwähnten Vorteil der Energieersparnis noch andere Vorteile. Man benötigt weniger Transport und spart Brammenlager sowie Ofenkapazität, und ein ununterbrochener Materialfluß durch Stranggießmaschine und Warmwalzwerk ist einfach technologisch eleganter. Die Zukunft gehört also der Integration von Stranggießen und Warmwalzen. Aber es gibt hierzu Fragen, insbesondere wenn man vollkommen ununterbrochen, also ohne Zwischencoilen, gießen und walzen will, wie das für den Clausthaler Prozeß vorgesehen ist.

- Langsames Warmwalzen: Der Gießvorgang ist vergleichsweise langsam, denn es muß genügend Zeit vorhanden sein, um die Erstarrungswärme und fühlbare Wärme abzuziehen. Das konventionelle Warmwalzen erfolgt viel schneller, denn das Walzgut soll dabei möglichst wenig abkühlen und die Walzen dürfen nicht zu heiß werden. Für die direkte Kopplung von Gießen und Warmwalzen müssen die Volumengeschwindigkeiten des Materials beim Stranggießen und Warmwalzen gleich sein, und das läuft darauf hinaus, ein langsames Warmwalzen zu entwickeln. Folgende Fragen sind zu untersuchen. Wie groß ist der Temperaturverlust des Walzgutes? Wie verhalten sich die Walzen? Wieviel Zunder wird gebildet? Kann man die gewünschten Materialeigenschaften einstellen? Viele solcher Fragen können theoretisch mit mathematischem Modellieren beantwortet werden.
- Ultradünnes Walzen: Es gibt eine zweite Entwicklung, nämlich das ultradünne Warmwalzen. Zur Zeit liegt die untere Grenze der Dicke von konventionell hergestelltem Warmband bei 1.5 mm. Dünnere Bleche erhält man nur durch anschließendes Kaltwalzen. Für viele Anwendungszwecke muß Blech aber nur dünn sein, d.h. die technologischen Eigenschaften sind sekundär, z.B. bei Blechen für Fassadenabdeckungen und Dächer. Man kann das Kaltwalzen und das Zwischenglühen sparen, wenn man dünner warmwalzen kann, und damit erheblich die Kosten senken. Ultradünnes Warmwalzen bis auf 0.8 mm ist schon vereinzelt gelungen. Auch hier ergeben sich Fragen, die zu untersuchen sind.

Zum Abschluß des Vortrages zeigt Bild 4 das Konzept einer modernen integrierten Anlage für Gießen/Warmwalzen, die auf dem Clausthaler Prozeß basiert und Blech von 1 mm Dicke erzeugen soll. Es wird ein 10 mm dickes Vorband mit einer Geschwindigkeit von 50 m/min gegossen, welches ohne Zwischencoilung in drei Gerüsten auf 1 mm heruntergewalzt wird. Im unteren Diagramm ist der Temperaturverlauf und das Zunderwachstum angegeben, die mit Modellen berechnet wurden.

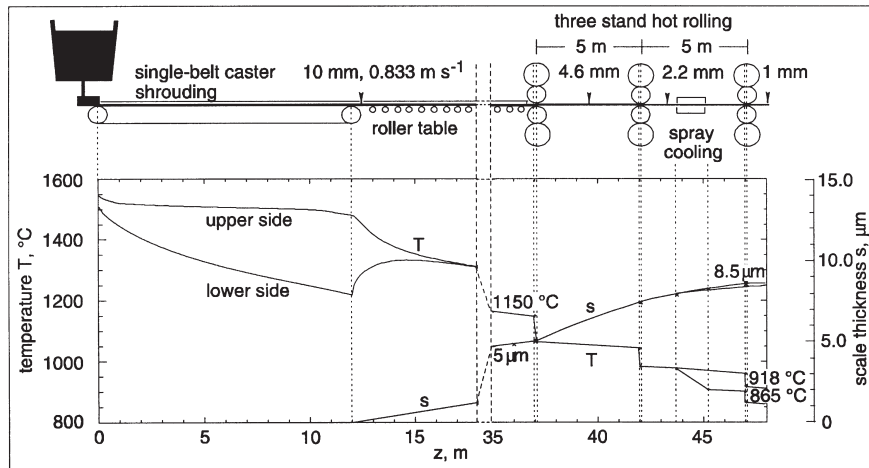


Bild 4: Konzept einer integrierten Anlage für Gießen/Warmwalzen. Das untere Bild gibt die Temperatur des Walzgutes und die Dicke der Zunderschicht auf dem Walzgut an [4].

### Schrifttum

- [1] K. SCHWERTDFEGER, K.-H. SPITZER, W. REICHELT, P. VOSS-SPILKER: Int. Conf. New Smelting Reduction and Near Net Shape Casting Technologies for Steel, Preprints 2, The Korean Inst. of Metals & The Inst. Metals London, 1990, 514-524
- [2] K. SCHWERTDFEGER, K.-H. SPITZER, W. REICHELT, P. VOSS-SPILKER: Stahl und Eisen, 1991, Nr. 6, 37-43
- [3] K.-H. SPITZER and K. SCHWERTDFEGER: 13 th PTD Conference Proc., 1995, 71-78
- [4] K. SCHWERTDFEGER: ISIJ Intern. Vol. 38, 1998, No. 8, 852-861.

---

Prof. Dr.-Ing. Klaus Schwerdtfeger  
 Technische Universität Clausthal  
 Robert-Koch-Straße 42 · D-38678 Clausthal-Zellerfeld



ULRICH REIMERS, Braunschweig

**Vom Kabelnetz zum Full-Service-Network**

Braunschweig, 08.10.1999\*

Wer immer den Begriff "Kabel" im Zusammenhang mit dem Fernsehen oder dem Hörfunk hört, glaubt Bescheid zu wissen: Gemeint kann nur der Kabelanschluss im Keller sein, für den man im Monat einen festen Nutzungsbetrag bezahlen muss, wenn man die "per Kabel" angebotenen Programme empfangen können will. Aber wieso ist dieses doch eigentlich sehr vertraut wirkende, langweilige Kabel derzeit ständiger Gast auf den Wirtschaftsseiten der Zeitungen? Wieso kauft die Deutsche Bank eine Firma Telecolumbus, deren einzige Stärke die ist, dass sie 1,2 Millionen Haushalten diesen Kabelanschluss bereitstellt? Und wieso zahlt die Deutsche Bank dafür dann 1,7 Milliarden DM?

Das Geheimnis liegt darin, dass sich das Kabelnetz im Übergang zum "Full-Service-Network" befindet, zu einem Netz also, über das alle Arten von Kommunikationsdienstleistungen abgewickelt werden können: Das analoge und das digitale Fernsehen, der analoge und der digitale Hörfunk, Datenübertragung, Zugang zum Internet und – natürlich – auch das Telefonieren. Dabei schafft die Möglichkeit, über das Kabelnetz das Internet zu erreichen, wohl den größten Wertzuwachs des Kabels.

Die Technik der Zugangsnetze zum Internet – vielfach auch als die Technik der "last mile" bezeichnet – bestimmt maßgeblich die für die Nutzung des Internet verfügbare Datenrate und damit die Wartezeit beim Abruf von Informationen. Während der private Surfer bei Nutzung eines an die Telefonsteckdose angeschlossenen Modems anfangs noch mit 14,4 kbit/s zufrieden sein musste, stehen ihm heute über das Integrated Services Digital Network (ISDN) nominell Datenraten von 64 kbit/s zur Verfügung. Tatsächlich allerdings bleibt die ISDN-Datenrate je nach genutztem ISDN-Modem und PC hinter diesem Maximalwert zurück.

ISDN ermöglicht unter anderem auch die Übertragung von stark komprimierten Videosignalen, jedoch ist die erreichbare Bildqualität inakzeptabel.

Will man die Zugangsgeschwindigkeit auf der last mile erhöhen, benötigt man ein neues Übertragungssystem, neue Hardware und einen Netzbetreiber, der diese neuen Techniken auch anbietet. Sieht man einmal von den technischen Lösungen ab, die sich derzeit noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium befinden, zum Beispiel dem breitbandigen Internetzugang über Funk- oder über die Stromversorgungsnetze, so bleiben nur zwei Netze, welche die höheren Geschwindigkeiten bereits heute bereitstellen können. Es sind dies das existierende Telefonnetz und – vor allen Dingen – das Kabel-(Fernseh-)Netz.

Die Techniken der digitalisierten Telefon-Anschlußleitung (Digital Subscriber Line-DSL) versprechen Datenraten, die um den Faktor 24 oder mehr über denen des ISDN

---

\* Vortrag vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

liegen. Da jeder Telefonkunde eine ihm individuell zugeordnete Leitung zu seiner Vermittlungsstelle besitzt, kann ihm per DSL ein eigener Datenweg bereitgestellt werden. Allerdings gibt es bei der Nutzung von DSL diverse Einschränkungen. ADSL, die Technik der Asymmetrical Digital Subscriber Line, hat ihren Namen deshalb erhalten, weil sie zum Endkunden (downstream) sehr viel höhere Datenraten – bis 8 Mbit/s – ermöglicht, als vom Endkunden zu seiner Vermittlungsstelle (upstream) – hier ist es nur etwa 1 Mbit/s. Außerdem gelten diese hohen Datenraten auch nur unter idealen Bedingungen, das heißt bei geringem Abstand zwischen dem Endkunden und der Vermittlungsstelle und bei nur gering gestörter Leitung. Schließlich zeigen Untersuchungen mit dem Einsatz von ADSL für die Internetnutzung, dass die Begrenzung der tatsächlich verfügbaren Datenrate nun nicht mehr auf der last mile sondern im gesamten System des Internet und im persönlichen Rechner stecken. Effektiv sind Datenraten von 1,5 Mbit/s im downstream aber erreichbar. Dies ermöglicht dann zwar immer noch keine einem heutigen Fernsehbild annähernd vergleichbare Bildqualität bei Videonutzung jedoch eine erhebliche Verbesserung gegenüber dem ISDN.

In Kabelnetzen, die allein schon durch die verwendeten Koaxialkabel eine gegenüber dem Telefonnetz unvergleichlich höhere Kanalkapazität bereitstellen, ist schneller Internetzugang ebenfalls möglich. Die Baumstruktur der Kabelnetze erzwingt relativ komplexe technische Lösungen, da ja nicht – wie beim Telefonnetz – jeder Kunde individuell an die Kabelkopfstation angebunden ist. **Abbildung 1** zeigt die Struktur eines solchen Kabelnetzes. Diese Struktur nennt man ganz anschaulich ein „Baumnetz“, bei dem der individuelle Kunde am Ende eines Zweiges angeschlossen wird. Der Name „Hybrid Fibre Coax (HFC) Network“ deutet darauf hin, dass das Netz aus optischen Übertragungswegen (Glasfaser = „Fibre“) und aus Übertragungswegen in koaxialer Technik besteht.

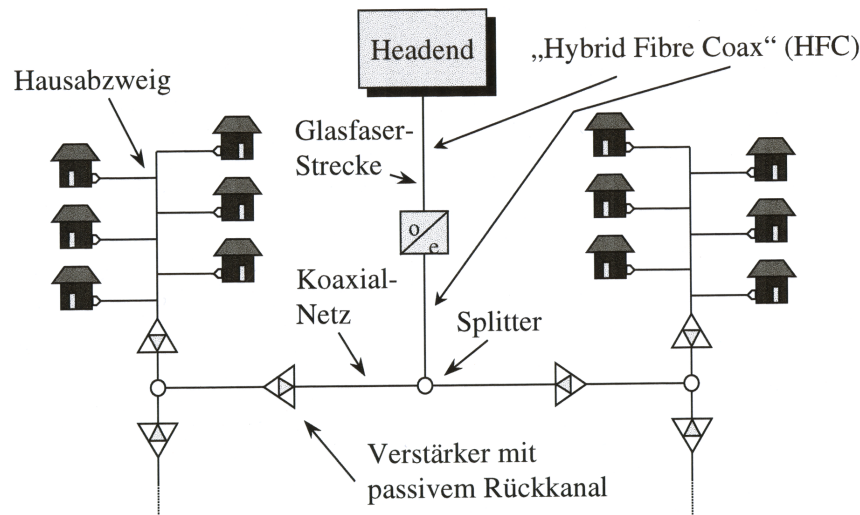


Abbildung 1: Struktur eines typischen HFC-Kabelnetzes

Das Kabelnetz stellt den geradezu idealtypischen Fall des “Full-Service-Network” dar. Da es ursprünglich realisiert wurde, um Rundfunkübertragungen (Hörfunk und Fernsehen) in private Haushalte zu ermöglichen, und nun die Einführung von Kommunikationsdiensten erfolgt, ohne den ursprünglichen Verwendungszweck zu konterkarieren, bietet das Netz alle denkbaren Kommunikationsformen. **Abbildung 2** zeigt ein sogenanntes Referenzmodell für das Kabelnetz als Full-Service-Network.

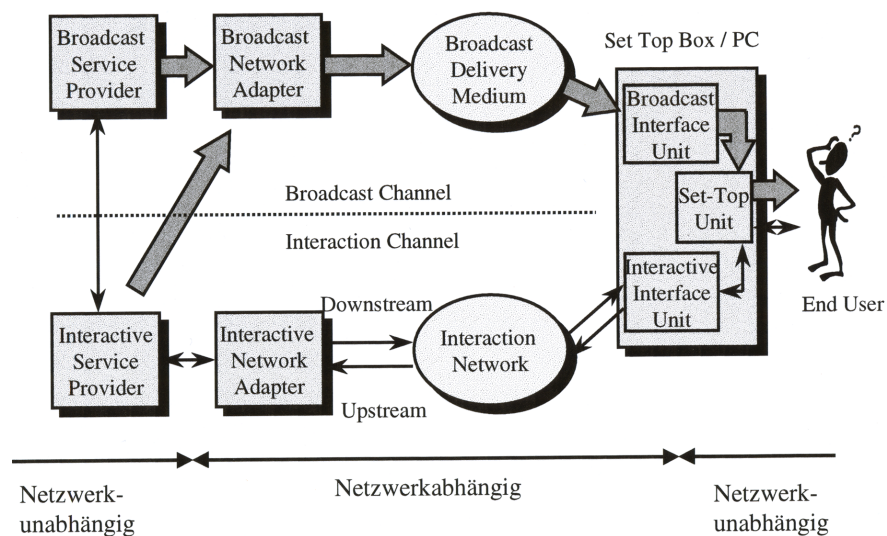


Abbildung 2: Referenzmodell eines Full-Service-Network

Jedem Kunden steht ein Rundfunkweg (“Broadcast Channel”) zur Verfügung. Dieser wird von einem Diensteanbieter (“Service Provider”) betrieben. Will man die Rundfunkprogramme empfangen, benötigt man einen Fernsehempfänger, eine HiFi-Anlage und/oder eine sogenannte “Set-Top-Box”. Der Übertragungsweg für die Datenkommunikation (“Interaction Channel”) wird möglicherweise von einem separaten Diensteanbieter betrieben – er findet seinen Platz aber innerhalb des Kabelnetzes. Als Endgerät für den Kunden finden eine Set-Top-Box und/oder ein PC Verwendung. Ein Kabelmodem stellt dann die Verbindung zum Beispiel zwischen dem Kabelnetz und dem PC her.

Zur Datenkommunikation gehört die Fähigkeit des Kunden, mit dem Diensteanbieter in Kontakt zu treten. Hierfür nutzt er den “upstream”-Datenweg. Innerhalb des im Kabel genutzten Frequenzbereiches müssen spezielle Frequenzen für den upstream-Verkehr bereitgestellt werden und die sogenannten Rückkanäle für diesen upstream-Weg müssen eingerichtet sein. Schließlich muss eine Kabelkopfstation, an die 500 bis 2000 Teilnehmer über Koaxialkabel angeschlossen sind, mit einem Glasfasernetz erreicht werden. Dann

allerdings ist es möglich, per Kabelmodem schnelle Datenkommunikation mit Übertragungsgeschwindigkeiten, die beim 15-fachen des heute mit ISDN möglichen liegen, und hochwertige Telephonie anzubieten. Auf der Basis des europäischen Standards ETS 300 800 für die Datenkommunikation in Kabelnetzen, der gemeinsam vom DVB-Projekt (DVB: Digital Video Broadcasting) und von dem Digital Audio Visual Council (DAVIC) geschaffen wurde, entstand innerhalb der EuroCableLabs, des an der TU Braunschweig angesiedelten Forschungszentrums zahlreicher europäischer Kabelnetzbetreiber, im ersten Halbjahr 1999 eine Spezifikation für ein Kabelmodem, die sogenannte EuroModem-Spezifikation. Diese wurde von den an EuroCableLabs beteiligten Institutionen gemeinsam entwickelt und am 12. Februar 1999 der Geräteindustrie in Braunschweig übergeben. Nach einer europaweiten Ausschreibung im Sommer konnten mittlerweile zehntausende derartiger Modems geordert werden. Damit hat die Ära der schnellen Internetzugangnetze auf der Basis von Kabelnetzen und damit das Zeitalter des Full-Service-Network begonnen.



BRIGIDE SCHWARZ, Berlin

## **Alle Wege führen über Rom. Eine Seilschaft von Klerikern aus Hannover im Spätmittelalter**

Braunschweig, 05.11.1999\*

In dem Zeitraum von ca. 1410 bis 1460 finden wir in herausgehobener kirchlicher Position in Norddeutschland und im Baltikum Kleriker aus Hannover. Berthold Rike war Dompropst in Lübeck 1409-1436, Johann Schele Bischof von Lübeck 1420-1439, Volkmar von Anderten Vorsitzender des dortigen bischöflichen Gerichts (Offizial). Im Lübecker Domkapitel saßen auch noch Dietrich Reseler, der 1413-1441 Bischof von Dorpat wurde, Ludolf Quirre, der es 1454 zum Dompropst von Halberstadt brachte, und 2 weitere, die „nur“ Domherren waren. Ludolf Grove brachte es zum Bischof von Ösel 1438-1458, Ludolf Nagel zum Domdekan von Ösel 1458-1469, Dietrich Nagel zum Dompropst von Riga 1439-1468. In den Domkapiteln von Dorpat und Ösel saßen weitere Hannoveraner. Andere brachten es so weit nicht: Arnold von Hesede wurde „nur“ Archidiakon (von Schmedenstedt, 1447-1476) und Domherr von Minden, Halberstadt und Hildesheim, Hermann Pentel nur Propst von St. Blasii in Braunschweig (1438-1456), Johann Ember Propst von SS. Simonis et Judae in Goslar (1418-1423), Konrad von Sarstedt und Dietrich Schaper hintereinander Pröpste des Benediktinerinnenklosters Lüne (1432-1440 bzw. 1440-1466).

Diese Karrieren müssen in größere Zusammenhänge eingeordnet werden: Sie sind erklärungsbedürftig und sie tragen zum Verständnis der gesellschaftlichen Dynamik des Spätmittelalters bei.

Erklärungsbedürftig ist, daß Hannoveraner just dort und nicht in ihrer Heimat Karriere machten. Das letztere ist leicht zu verstehen: in Hannover, das damals nur eine mittlere Landstadt war, gab es keine höheren kirchlichen Positionen; außerdem wurden die von Karrieristen als niedrig eingestuften Pfründen der Pfarrer und Vikare von den Herzögen und oder dem Rat vergeben. Es ist auch zu erklären, daß Bürgersöhne aus der Fremde Positionen erreichten, die im allgemeinen Adelligen und Angehörigen des Patriziats vorbehalten waren.

Damit man eine derartige Karriere machen konnte, mußte man bestimmte Voraussetzungen erfüllen, außerdem mußte eine günstige Konstellation gegeben sein.

Der erste der genannten Kleriker, Berthold Rike, brachte solche Voraussetzungen mit; die ihn begünstigende Situation war die des Schismas auf dem Papstthron von 1378 bis 1417. Der in Rom residierende Papst – es gab ja noch einen in Avignon, zu dem die meisten Kurialen übergingen – brauchte ganz plötzlich eine neue Kurie. Unter den wenigen, die ihm treu geblieben waren und denen er vertraute, wenn auch in subalternen Stellung, befand sich ein Norddeutscher, der ihm Verwandte und Freunde für die neue Kurie vermit-

---

\* Vortrag vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

telte. Andere Verbindungen zu dem nun plötzlich wichtig gewordene Norddeutschland hatte der Papst nicht. Die neuen Kurialen aus Hannover (Rike, Schele und Reseler) bewähren sich und zeigen bald die üblichen Karrieremuster der Zeit.

Die wichtigsten Voraussetzungen für eine Karriere waren:

(1) Die Zugehörigkeit zu einem Netzwerk.

Obleich im Spätmittelalter am ehesten die Kirche geneigt war, Leistung zu honorieren, waren auch in ihr soziale Verflechtungen außerordentlich wichtig. Voran die Verwandtschaft, in der Klerikerkirche natürlich nicht über direkte Nachkommenschaft, sondern über die „Neffen“. „Nepotismus“, die Sorge für Verwandte, war nicht etwa anrühlich, sondern Tugend (*Pietas*), solange mit Augenmaß praktiziert. Fast genauso wichtig war die Patronage. Rike, der lange Jahre im Haushalt des Kardinals Cossa, später Papst Johannes XXIII., gelebt hatte, empfand sich zeitlebens als dessen Klient. Enge Verbindungen schufen auch das Studium, die Mitgliedschaft in kurialen Kollegien wie bereits die Zugehörigkeit zur Kurie. In unserem Fall ist die wichtigste Verflechtung die landsmannschaftliche, möglicherweise auch weitläufige Verwandtschaft. Die Karrieristen in Livland hätten sich ohne die dauernde Unterstützung ihrer *compatrioti* aus der Ferne gar nicht gegen den Deutschen Orden behaupten können

(2) Eine hohe akademische Qualifikation an einer der „Efeu-Universitäten“ in Oberitalien.

Dies war unerlässlich für Aufsteiger aus dem Bürgerstand. Die drei ersten Hannoveraner der Seilschaft studierten während ihres Kuriendienstes in Bologna und Padua Kirchenrecht und erwarben dort höchste Abschlüsse. Auch hier ist wieder die Seilschaft am Werk: Rike, der als erster in Bologna anlangt, zieht die anderen nach. Die Universitäten waren übrigens nicht nur akademische Bildungsstätten, sondern auch und vor allem soziale Systeme, ihr *old-boys-network* eine wichtige Form der Vernetzung. Quirre sollte seinen späten Aufstieg zum Dompropst von Halberstadt einer während seines kurzen Studiums in Bologna geknüpften Beziehung verdanken.

(3) Gute Herkunft, aus dem gehobenen Bürgertum als Minimum.

Daß Pentel scheiterte und die Karrieren Sarstedts und Schapers nicht über Pfarrkirchen und Klosterpropstei hinausführten, lag – außer an ihrer geringen akademischen Qualifikation – auch an ihrer bescheidenen Herkunft. Nur die Ausnahmesituation der ersten Stunde im Schisma und die des Abwehrkampfes in Livland entbanden von dieser Anforderung.

(4) Eine angemessene Ausstattung mit Pfründen.

Pfründen (nicht eine Sinekure, sondern ein kirchliches Amt, bei dem mit den Amtspflichten untrennbar Einnahmen und Rechte verbunden sind, mit Schwerpunkt auf letzterem) brauchte man nicht nur für das Auskommen, sondern auch für standesgemäßes Auftreten. Daher sammelte man während der ganzen Karriere Pfründen, tauschte weniger nützliche gegen angesehene um. Angesehen waren Kanonikate plus Ämter an Stifts-, besser noch an Domkirchen, am besten solche mit Gerichtsfunktionen (Archidiakon) und Ehrenvorrang (Propst, Dekan).

An die begehrten Pfründen kam man, wenn man nicht zum örtlichen Adel gehörte (dazu u.), fast nur über den Papst, der Berechtigungen ausstellte, mit denen bewehrt man sich am Ort in den Kampf um die Pfründe stürzen konnte. Am erfolgreichsten waren die, denen Vorrechte beim Pfründenerwerb zustanden (Graduierte, Angehörige der Kurie), die, die am raschesten und sichersten Informationen über die Pfründe hatten, und die das Know-How hatten, wie sich ihre Sache am besten durch den ungeheuer komplizierten Geschäftsgang der Kurie bringen ließ, wofür sich nicht jede kuriale Position gleich gut eignete. Die Kurie war eben auch ein Markt (in einem streng ökonomischen Sinn), auf dem Pfründen vermittels päpstlicher Berechtigungen (Anwartsscheinen, „Ernennungen“, Tausch, Dispense) gehandelt wurden.

Nicht alle Pfründen wurden über den Pfründenmarkt erworben. Bestimmte Positionen, an denen er selbst interessiert war, sowie stets die Bischofsthronen verlieh der Papst direkt. Daher wird Rike Dompropst und Schele Bischof in Lübeck, wo nicht nur die Fäden der Politik im Ostseeraum zusammenliefen, sondern auch die Papstfinanz einen wichtigen Stützpunkt hatte. Natürlich zogen diese Verwandte und Freunde nach, die im Lübecker Domkapitel, aber auch an den Domkirchen des Baltikum untergebracht wurden. Nicht auf den päpstlichen Pfründenmarkt kamen auch die Pfründen, die dem Laienpatronat unterlagen, wie die Braunschweiger Propstei von St. Blasii oder die Lünener Propstei. Deren Träger erhielten sie als Versorgungspfründen aus der Hand ihrer Herren.

Zur Durchsetzung der päpstlichen Berechtigungen brauchte man Freunde am Ort, und – hatte man sie einmal errungen – Vertreter, die die Interessen wahrnahmen und die Stellvertreter in den Pfründen beaufsichtigten, kurzum auch hier ging es nicht ohne Netzwerke.

(5) Zugehörigkeit zur Kurie, selbst in einem weiten Sinn, oder wenigstens längere Aufenthalte dort sowie auf den Konzilien und Kongressen.

Dies waren die hohen Schulen der Diplomatie, Wissenschaft und Künste, wo Informationen aus aller Welt – wie nirgendwo sonst – zusammenliefen und die Geldströme zusammenflossen, von wo Patronagenetze sich in die Weltkirche spannten und wo die Chancen verteilt wurden.

Bei den hier betrachteten Karrieren ergeben sich bestimmte Karrieremuster, wenn man zeitlich und räumlich differenziert. Räumlich zwischen den Karrieren in Livland und denen im Mutterland. Zeitlich zwischen denen der ersten Generation, die auf einer einmaligen Konstellation beruhten, und den folgenden.

In den baltischen Fürstbistümern ging es darum, sich der vom Deutschen Orden aufgezwungenen Kandidaten zu erwehren. Daher verzichteten die livländischen Kirchen, wenn nötig, auf sonst unerlässliche Qualifikationen für Aufsteiger aus dem Bürgerstand; wichtiger war die Unterstützung von Seiten der Kurie bzw. der Konzilien und von Lübeck aus. Die Karrieristen in Livland haben auch kaum Pfründenbesitz vorzuweisen.

Soweit sie nicht nach Livland führten, verliefen die Karrieren der Hannoveraner der 2. und 3. Generation in bescheidenen Bahnen und in der Region. Für sie waren einige von den oben genannten Karrierefaktoren nicht mehr zu realisieren. Wegen der Störungen

bzw. des Abbruchs der Beziehungen zwischen Norddeutschland und der Kurie, v.a. wegen des Zusammenbruchs des kurialen Pfründenmarktes, waren kuriale Ämter in einflußreicher Position unerreichbar, Kurienerfahrung daher rar. Wichtiger war für diese Generationen das Basler Konzil (1431-1449). Selten findet man jetzt das Studium des Kirchenrechts an Auslandsuniversitäten, offenbar, weil es sich nicht mehr lohnte. Dafür ist jetzt der Fürstendienst wichtiger, der aber nicht mehr zum Erwerb von Pfründen auf dem freien Markt führt, sondern nur zu solchen aus der Schirmherrschaft des Fürsten (der auch eine Stadt sein kann). Der Pfründenbesitz ist nur bei Quirre dem der Angehörigen der 1. Generation vergleichbar. Hingegen sind die Anforderungen an die soziale Herkunft wieder recht hoch. Allerdings ist die Quellenlage für diese Generationen schlechter, weil die kurialen Quellen hier weitgehend fehlen.

Diese Ergebnisse lassen sich in größere Zusammenhänge einordnen:

1. In der mittelalterlichen Stände-Gesellschaft war Aufstieg nicht vorgesehen. Wenn es Aufstieg gab, dann in der Regel ganz allmählichen, über mehrere Generationen. Aufstiegschancen bot generell v.a. die Kirche, allerdings war gerade die deutsche Kirche „das Spital des Adels“. In die Kartelle des regionalen Adels an den Kirchen brachen seit dem 14. Jahrhundert die sog. „gelehrten Räte“ ein. Zuerst die juristischen Berater des Königs, seit Ende des Jahrhunderts hatten auch einzelne Fürsten und Städte solche. Unsere Karrieristen gehören sämtlich zu dieser neuen Elite. Doch nicht nur ein Individuum stieg auf, sondern durch den Aufstieg des klerikalen Mitglieds die ganze Familie. Das kann man an Schele und Quirre gut studieren.

2) Das gegenwärtige Interesse an den „gelehrten Räten“ ist vielfältig. Sozialgeschichtlich fragt man nach den Möglichkeiten des Aufstiegs für Bürgersöhne. Ferner nach den Bedingungen für die Ausbreitung der modernen Rechtskultur im Deutschen Reich. Kaum bekannt und erforscht ist hingegen die Rolle der „gelehrten Räte“ an der Kurie als Wegbereiter der Banken. Anders als in den entwickelteren Ländern im Westen und Süden gab es nämlich im Deutschen Reich keine intellektuelle Elite im Laienstand. Intellektuelle konnten nur durch kirchliche Pfründen ent- bzw. belohnt werden, mußten also Kleriker werden; auch ihre intellektuelle Bildung mußte in diesem Rahmen bleiben; man studierte daher Kirchenrecht, nicht weltliches Recht. Damit vollzog sich die Karriere der gelehrten Räte, von außen gesehen, als kirchliche Karriere. Sie gipfelte in Leitungämtern an Kollegiatkirchen oder dem des Bischofs.

Fazit: Führen alle Wege über Rom? Ja, solange der kuriale Pfründenmarkt blüht und man mit päpstlichen Autorisationen in die lokalen Pfründenkartelle einbrechen kann. Als der Markt einbricht, lohnt auch der Dienst an der nun zu fernen Kurie nicht mehr. Und wie haltbar sind die Seilschaften? Diese sind immer etwas ganz Persönliches, Situationsbedingtes. Belastbar sind sie vor allem dann, wenn Chancen winken. In Zeiten zusammenbrechender Märkte sind lokale Schirmherrschaften wichtiger.

### Literatur

I. MÄNNL, Die gelehrten Juristen im Dienst der Territorialherren im Norden und Nordosten des Reiches von 1250-1440. – In: Gelehrte im Reich. Zur Sozial- und Wirkungsgeschichte akademischer Eliten des 14. bis 16. Jahrhunderts, hg. von R. Ch. Schwinges, Berlin 1996 (= Zeitschrift für Historische Forschung, Beih. 18), S. 269-90.

B. SCHWARZ, Patronage und Klientel in der spätmittelalterlichen Kirche am Beispiel des Nikolaus von Kues. – In: Quellen und Forschungen aus italienischen Archiven und Bibliotheken 68 (1988) S. 284-310.

B. SCHWARZ, Der deutsche Pfründenmarkt im Spätmittelalter. – In: Zeitschrift für Historische Forschung 20 (1993) S. 129-152.

B. SCHWARZ, Alle Wege führen über Rom. Eine „Seilschaft“ von Klerikern aus Hannover im späten Mittelalter (1. Folge): [Dietrich Reseler, Bischof von Dorpat, Johann Schele, Bischof von Lübeck, Ludolf Grove, Bischof von Ösel]. – In: Hannoversche Geschichtsblätter, NF 52 (1998) S. 5-87.

---

Prof. Dr. Brigide Schwarz  
Geibelstraße 2  
D-12205 Berlin



# KLASSENSITZUNGEN

JOACHIM HEIDBERG, Hannover

## The Physisorbate $\text{H}_2\text{O}$ -NaCl(001)

Braunschweig, February 12, 1999\*

### 1. Introduction

The adsorbate  $\text{H}_2\text{O}$ -NaCl(001) dominated by physical interactions is of importance as a strongly polar, H-bonded system in a highly non-uniform electrostatic field. Water not only physically adsorbs on the surface to form an adlayer, but also reacts chemically at defects on the NaCl(001) surface. The cases from the isolated admolecule up to the monolayer collective behavior are of basic interest.

The adsorption of water on salt is significant for numerous phenomena ranging from interstellar dust grains to biochemistry, from sea salt spray, heterogeneous nucleation of clouds to industrial applications, such as catalysis, nuclear waste deposition in geologically stable rock salt domes. In particular, it is estimated that  $10^9$  to  $10^{11}$  tons of salt are injected annually as aerosols into the atmosphere from the oceans. The tropospheric reactions of the salt aerosols with  $\text{NO}_2$  produce  $\text{NaNO}_3$  and  $\text{HCl}$ . The role of adsorbed water in this transformation process is not understood. Another topic of scientific, economic and social relevance especially in northern Germany is the industrial processing of raw mineral salts. In a new electrostatic process, named ESTA,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgSO}_4$  are separated by contact charging after adsorption of water and proper acid vapor from air of defined humidity. Presently some  $10^7$  tons of mineral salt per year are separated in the ESTA process. More work needs to be done to understand the role of adsorbed water on the salt surface in order to further improve the process.

Systematic studies under well-defined conditions are being carried out on the interaction between water vapor and the clean, monocrystalline NaCl(001) surface under ultrahigh vacuum (UHV) conditions. The surfaces are prepared either by cleaving single crystals in-situ under UHV or under nitrogen gas. Perfect terraces, as far as can be monitored, extending up to  $0.5\ \mu\text{m}$  and mono- and poly-atomic steps, color centers and other defects are generated.

This short paper only allows a partial report of the results. A more complete report will be published later.

### 2. Methods

A variety of experimental and theoretical methods are applied to elucidate the complexities of water adsorption and dissociation on the NaCl surface. In-situ polarization infrared lead

---

\* Short publication of the lecture held in the „Klasse für Naturwissenschaften und Mathematik“.

salt diode laser and Fourier transform spectroscopy of the surfaces, PIRSS, having the advantage of being non-invasive, are used, both in transmission and attenuated total reflection, together with X-ray-photoelectron spectroscopy, atomic force microscopy AFM and low energy electron diffraction LEED at currents below nano-amperes to minimize transformation of the surface by electrons. Highest sensitivity ( $10^{-4}$  monolayer  $\text{CO}_2$  on  $\text{NaCl}(001)$ ), resolution (better than  $10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ ) and polarization are attained in PIRSS.

### 3. $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$

Structural and dynamic properties of  $\text{H}_2\text{O}$  adsorbed on the  $\text{NaCl}(001)$  crystal surface were determined in the range of temperatures and partial pressures from 15K to 300K and  $2 \times 10^{-10}$  to  $10^3$  mbar, respectively. There are main infrared absorptions of the OH-stretching vibrations between  $3050$  and  $3600 \text{ cm}^{-1}$ , very broad ( $100 - 300 \text{ cm}^{-1}$ ) and red-shifted with respect to the gas frequencies by  $200 \text{ cm}^{-1}$  and more showing strong hydrogen bonds. The infrared absorptions are polarized, the angle between the  $\text{NaCl}(001)$  surface and the mean transition dipole moment associated with the symmetric  $\nu_1$  and antisymmetric  $\nu_3$   $\text{H}_2\text{O}$  stretching vibration and possibly the first overtone of the bending vibration  $\nu_2$  being  $20^\circ$ .

Upon dosing stepwise at  $150 \pm 2 \text{ K}$ ,  $p(\text{H}_2\text{O}) \leq 8 \times 10^{-8}$  mbar, island growth of the adsorbate from about  $1/5$  of the saturation coverage  $\Theta_s$  up to saturation takes place, as indicated by the uniform increase of the integrated absorption  $A_{\text{int}}$  of the bands at  $3500$  and  $3300 \text{ cm}^{-1}$  up to  $A_{\text{int}} = (0.29 \pm 0.02) \text{ cm}^{-1}$  and  $A_{\text{int}} = (0.20 \pm 0.02) \text{ cm}^{-1}$  for s-polarization, the angle of IR incidence being  $50^\circ$ . Near saturation an additional band at  $3400 \text{ cm}^{-1}$  with  $A_{\text{int}} = 0.04 \text{ cm}^{-1}$  and shoulders on the low frequency side of all bands emerge. The bands are better resolved in s- than in p-polarization. The corresponding  $A_{\text{int}}$  values for p-polarization are  $0.22$ ,  $0.15$ ,  $0.06 \text{ cm}^{-1}$  for the  $3500$ ,  $3300$  and  $3400 \text{ cm}^{-1}$  bands. Increase of the partial water pressure  $p(\text{H}_2\text{O})$  up to  $1 \times 10^{-7}$  mbar does not change the integrated absorption, whereas decrease below  $8 \times 10^{-8}$  mbar causes desorption within an hour. Thus adsorption – desorption equilibrium is established within this period. Dangling OH in  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$  normal to the surface is detected in the IR-frequency range around  $3700 \text{ cm}^{-1}$  only in the more sensitive attenuated total reflection geometry and not in transmission.

At  $(150 \pm 2) \text{ K}$ ,  $p(\text{H}_2\text{O}) \geq 1 \times 10^{-7}$  mbar multilayer condensation sets in with peak absorption at  $3225 \text{ cm}^{-1}$  and bands at  $3370$ ,  $3290$ ,  $3260$  and  $3150 \text{ cm}^{-1}$ . The spectrum is in agreement with that of polycrystalline ice  $\text{I}_h$ .

In multilayer condensation at  $120 \text{ K}$  amorphous ice with a broad absorption centered at  $3400 \text{ cm}^{-1}$ , width  $400 \text{ cm}^{-1}$ , is formed. An additional weak, sharp band at  $3700 \text{ cm}^{-1}$  polarized normal to the  $\text{NaCl}(001)$  surface indicates dangling OH oriented normal to the surface.

Cooling of the saturated adsorbates  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$  and  $\text{D}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$  at constant coverage, ensured by simultaneous decrease of the  $\text{H}_2\text{O}$  partial pressure, does not produce appreciable changes in the PIRS-spectra.



#### 4. $\text{D}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$ . Adsorption Isotherms.

The adsorbate  $\text{D}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$  was prepared in order to confirm the interpretation of the observations on the adsorbate  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$ . At 154.5K the beginning of the  $\text{D}_2\text{O}$  adsorption at  $1.5 \times 10^{-8}$  mbar is observed in both p- and s-polarization at 2600 and 2500  $\text{cm}^{-1}$ , the band at 2600  $\text{cm}^{-1}$  being more intense and emerging earlier. The bands grow strongly in the range of 4 to  $5 \times 10^{-8}$  mbar up to leveling off; on the low frequency side weaker broad bands evolve being better resolved in s-polarization (2435, 2380, 2340  $\text{cm}^{-1}$ ). Upon further  $\text{D}_2\text{O}$ - pressure increase from  $5 \times 10^{-8}$  to  $1.25 \times 10^{-7}$  mbar there is almost no change in the spectra, corresponding to saturation. The total integrated absorption is 0.2  $\text{cm}^{-1}$  in both p- and s-polarization. At  $1.25 \times 10^{-7}$  mbar new bands at 2480, 2430, 2330  $\text{cm}^{-1}$  grow rapidly showing multilayer condensation with the formation of  $\text{D}_2\text{O}$  - 3D ice I.

Further measurements of the adsorption isotherms for  $\text{D}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$  in the temperature range between 140 and 157K by means of PIRSS yielded similar results. Steep rises in the isotherms indicate two-dimensional condensation and saturation of the adsorbate before three-dimensional phases grow. The isotherms have plateaus, rising slightly and independent of temperature for both s- and p-polarization and an angle of incidence of  $50^\circ$ , at an integrated absorption of  $A_{\text{int}} = (0.20 \pm 0.02) \text{ cm}^{-1}$  in the OD stretching range between 2200 and 2800  $\text{cm}^{-1}$ .

In the region of the plateau  $A_{\text{int}}$  rises by about 20%. At the foot of the steep rise there are bands around 2600 and 2500  $\text{cm}^{-1}$  having widths of 50 to 100  $\text{cm}^{-1}$  and a total integrated absorption  $A_{\text{in}}$  of about 0.03  $\text{cm}^{-1}$  indicating hydrogen bonds also in the  $\text{D}_2\text{O}$  low coverage range.

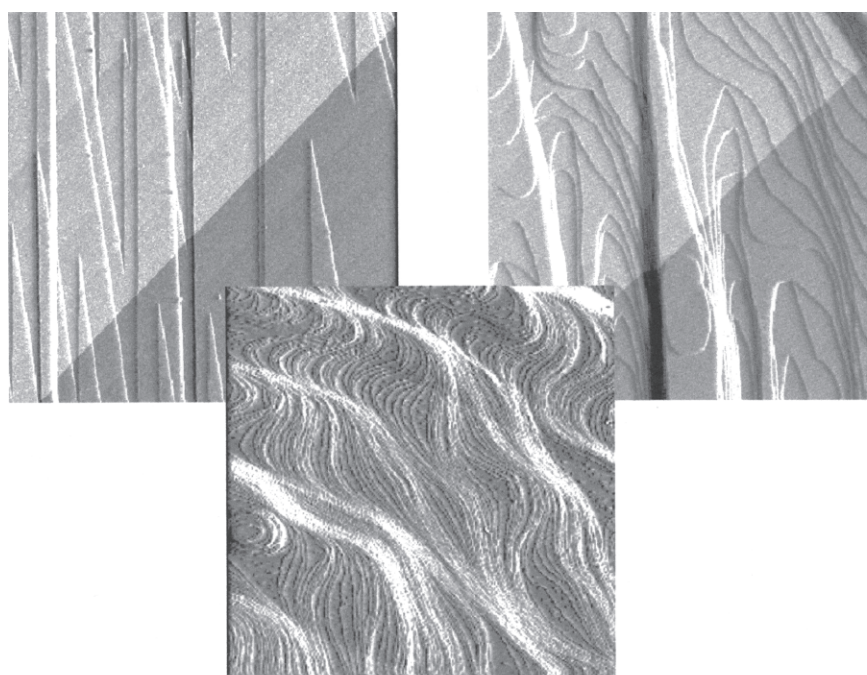
#### 5. Coverage and Lattice Symmetry of $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$

The coverage of the adsorbate  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$  and  $\text{D}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$  was determined by means of X-ray photoelectron spectroscopy using the  $\text{O}_{1s}$  photoelectron intensity of the complete monolayer of  $\text{CO}_2$  on  $\text{NaCl}(001)$  as a reference. The coverage is  $\Theta = (2.0 \pm 0.3)$   $\text{H}_2\text{O}(\text{D}_2\text{O})$  molecules per  $\text{Na}^+$  at the onset of saturation of the 2D-condensed adsorbate layer and rises up to 3 before 3D growth. PIRS-spectra of the 2D-condensed adsorbate  $\text{D}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$  at 145K before and after the XPS study do not differ indicating that there are no effects of XPS on  $\text{D}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$  detectable by PIRSS.

SPA-LEED studies were performed to determine the lattice symmetry of saturated 2D condensed  $\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{D}_2\text{O}$ )- $\text{NaCl}(001)$ , which was prepared under PIRSS control. In addition, the process of adsorption and two-dimensional condensation was observed by following the specular electron beam intensity scattered from the  $\text{NaCl}(001)$  surface during the adsorption of water. At constant crystal temperature of 142K the water vapor pressure was increased in small steps. The intensity of the reflected electron beam starts slightly falling at  $4 \times 10^{-10}$  mbar, drops strongly at  $1.4$  to  $1.6 \times 10^{-9}$  mbar and then falls slightly again up to  $7.5 \times 10^{-9}$  mbar where it drops more strongly again, indicating the regions where the 2D clusters, the 2D condensation, the saturated 2D condensed layer, further adsorption thereon and the 3D growth exist.

Angular distributions of the scattered intensity at various electron energies were measured for the saturated 2D condensed layer of  $\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{D}_2\text{O}$  on  $\text{NaCl}(001)$ , the measuring time being  $\leq 0.31$  h, the gate time 15 ms. No diffraction peaks were observed in addition to those observed for the base  $\text{NaCl}(001)$  surface. There is no evidence for any larger superlattice. However, there are significant changes in the ratio of the specular to the diffracted peak intensities, showing a change of the form factor corresponding to a change in the surface corrugation. At 69 eV electron energy, the (0,0) intensity decreases, whereas the (0,1) intensity increases relatively, upon adsorption. The widths of the diffraction peaks appear to remain unchanged. It is concluded that the saturated two-dimensional condensed layer of  $\text{H}_2\text{O}$  forms an ordered ( $1 \times 1$ ) commensurate layer on the  $\text{NaCl}(001)$  surface.

If the scan time is increased up to  $\geq 8.5$  h, the reflexes of a  $c(4 \times 2)$  superstructure of the saturated 2D condensed layer of  $\text{D}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}(001)$  were observed, indicating the conversion



A) Surface prepared by cleaving in-situ under UHV

B) after 30 min. in  $\text{H}_2\text{O}$  vapor at 10 mbar, 298 K

C) after 2 days in ambient air.

Fig.1 Change of the cleavage structure of the  $\text{NaCl}(001)$  surface observed by atomic force microscopy. Image section  $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ .

of  $(1 \times 1)$   $\text{H}_2\text{O}$ -NaCl(001) into  $c(4 \times 2)$   $\text{H}_2\text{O}$ -NaCl(001) induced by electron impact. The phase  $c(4 \times 2)$   $\text{H}_2\text{O}$ -NaCl(001) had been found by LEED before by M. Henzler et al. on well-ordered atomically thin NaCl films grown heteroepitaxially on Ge(001) substrates.

In a helium atom scattering study a  $(1 \times 1)$  diffraction pattern was found for the saturated 2D condensed layer by L.W. Bruch, A. Glebov, A.J.P. Toennies and H. Weiss. ELS-LEED studies on  $\text{H}_2\text{O}$ -NaCl(001) film/Ge(001) by M. Henzler and co-workers confirmed the  $c(4 \times 2)$  structure which is preferentially formed on surfaces with high density of color centers, whereas on surfaces with low density of color centers a  $c(12 \times 2)$  structure was detected. The spot widths in the diffraction pattern are of the same order as that for the NaCl(001) film/Ge(001) substrate and distinctly smaller than for the  $c(4 \times 2)$  structure. We conclude that the Gibbs free energies for various adsorbate structures do not differ essentially even at temperatures around 150K. Local perturbations by color centers and steps appear to cause long range effects in the monolayers of water due to strong lateral interactions, especially directed hydrogen-bonding, comparable in strength to the molecule substrate interaction.

## **6. Water Adsorption Stimulating Ion Mobility on the NaCl(001) Surface. Contact Equilibrium at the Interface of Adsorbate-Covered NaCl and KCl Crystals**

The effect of water vapor on the original NaCl(001) surface, prepared by cleaving a single crystal under exclusion of water, is being studied in-situ by ultra high vacuum atomic force microscopy. The first investigation of the cleavage structure of the NaCl(001) surface and the interaction with water was carried out electron-microscopically by H.Bethge, H. Höche et al. using the gold decoration technique.

We observed nanoscale changes of the cleavage structure of the NaCl(001) surface at 298K and very low relative water vapor pressures,  $p(\text{H}_2\text{O})/p_a \geq 2 \times 10^{-7}$ ,  $p_a = 10$  mbar being the vapor pressure at which the 2D phase transition with the onset of island formation of the adsorbed water layer occurs. Hillocks with base lengths up to 70 nm and heights up to 5 nm are formed at 298 K and  $p(\text{H}_2\text{O})/p_a = 2 \times 10^{-7}$  within 1 hour, predominantly at defect sites. In time also pits are produced on terraces after 3 hours with diameters in the 50 nm range. Under higher water vapor pressure the structural changes of the in-situ cleaved surfaces of NaCl take place at the typical lightning-shaped step configuration. Above 3 mbar (10% relative humidity) the tips become rounded due to edge-diffusion of salt ions along the monoionic surface steps. Under ambient conditions spontaneous motion of cleavage steps is observed above 30% relative humidity on NaCl(001) surfaces. The step velocity lies in the range of 2 nm/s, depending on the step-shape and the relative humidity. Polyatomic steps convert to several monoatomic steps and an ion transport from upper to lower terraces is observed.

The contact equilibrium at the interface of two adsorbate-covered insulators has been introduced. In particular the contact charging of NaCl versus KCl crystals stimulated by adsorption of water vapor and proper substances such as salicylic acid has been investigated.

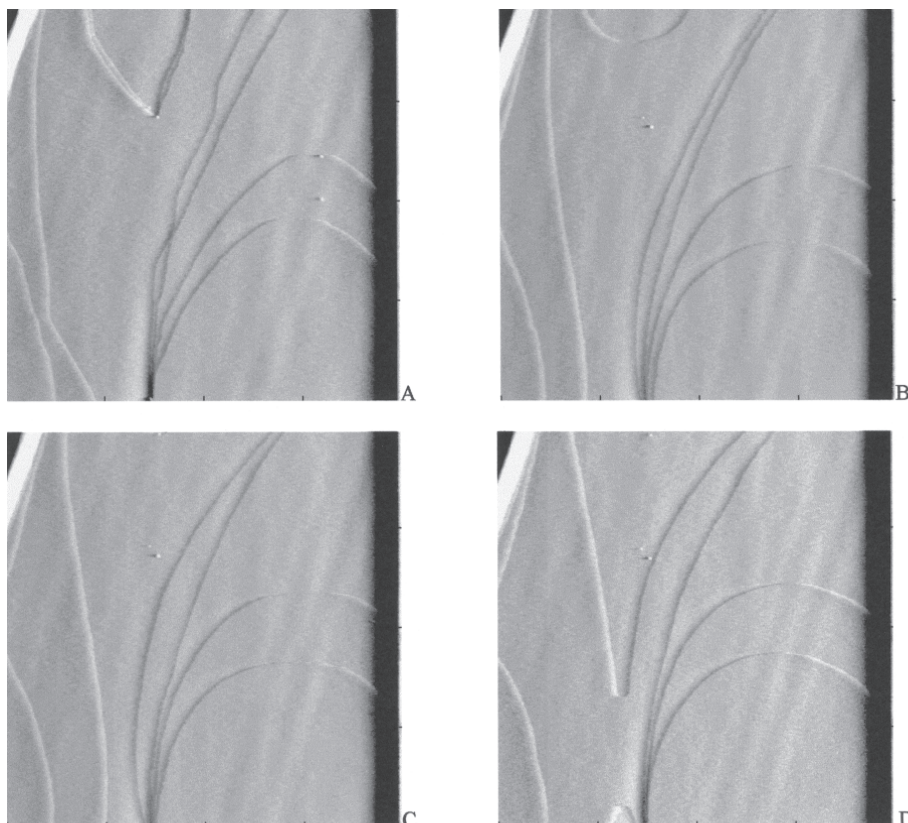


Fig. 2 Migration of monoatomic steps on the NaCl(001) cleavage surface at 53% relative humidity and room temperature (298K) observed by atomic force microscopy. Velocity of step migration 0.5 to 2.0 nm/s. Material transport from upper to lower terrace. Normal force mode(FN). Image section  $8\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ .

A) Start image. Relative humidity <30%.

B) The same surface section after 14min. of 53% relative humidity.

C) 8 min. after B.

D) 8 min. after C.

The pertinent relations of thermodynamics and electrostatics have been applied to the contact equilibrium and charging. Distribution equilibria of mobile ions, electrons and neutrals, chemical equilibria, such as acid-base- and redox-equilibria, have been described. The simplest model of the interface is the HELMHOLTZ-double-layer. The introduction of the new principle of the adsorbate-stimulated contact equilibrium is promoted by the success of the electrostatic separation of mineral salts, the ESTA-process, which was developed on empirical grounds by Kali & Salz GmbH.

## 7. Acknowledgements

Support by Land Niedersachsen, Fonds der Chemischen Industrie, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) and Kali & Salz GmbH is gratefully acknowledged. Most of the work has been performed in the DFG-Forschergruppe „Adsorbatwechselwirkungen an Ionenkristallen und Metallen“. I thank the members for fruitful cooperation, especially Prof. H. Weiß, Dr. W. Häser, Dipl.-Chem. S. Wiesner, Dipl.-Chem. A. Backhaus-Ehlert and Dipl.-Phys. A. Rugullies for their contributions. Stephan Wiesner produced the images presented in fig. 1 and 2.

---

Univ.-Prof. Dr. phil. nat. Joachim Heidberg, im Ruhestand,  
Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie · Universität Hannover,  
Callinstr. 3-3A · D-30167 Hannover



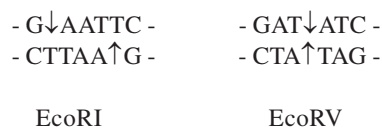
Dr. Günter Maaß, Hannover

**„Restriktionsenzyme - Physikalische Chemie und Enzymologie“**

Braunschweig, 12.03.99\*

Restriktionsendonukleasen sind Enzyme, die kurze Desyribonukleinsäuresequenzen spezifisch erkennen und in beiden Strängen spalten. Sie finden sich in prokaryotischen Organismen und ihre biologische Funktion besteht darin, diese gegen eindringende Fremd-DNA in Form von Bakteriophagen zu schützen, indem die Phagen-DNA gezielt gespalten wird. Die zelluläre DNA wird dabei durch spezifische Methylierung in der Erkennungssequenz vor Spaltung geschützt.

Berühmt wurden die Restriktionsenzyme weniger als bakterienspezifisches Abwehrsystem gegen eindringende Bakteriophagen, sondern als die entscheidenden Werkzeuge in der Gentechnologie. Nur mit ihrer Hilfe wurde es möglich, lange DNA-Moleküle gezielt zu spalten und so einer Analyse zuzuführen. Die heutigen Erfolge in der Aufklärung von Genomstrukturen sind ohne die Restriktionsenzyme undenkbar. Die am ausführlichsten untersuchten Restriktionsenzyme sind die des Typs II, die als Homodimere vorliegen,  $Mg^{2+}$  als Cofaktor benötigen, kurze palindrome DNA-Sequenzen von 4-8 Basenpaaren Länge erkennen und die DNA innerhalb der Erkennungssequenz oder in unmittelbarer Nachbarschaft spalten, wie es am Beispiel der beiden Enzyme Eco RI und Eco RV gezeigt ist.



An diesen beiden Enzymen sind der Mechanismus der Enzym-DNA-Erkennung und die Spaltungsreaktion in meinem Institut ausführlich untersucht worden. Dabei ergab sich sowohl für den Physikochemiker als auch den Chemiker und den Enzymologen eine Fülle neuartiger Erkenntnisse.

Der erste Schritt des Erkennungsprozesses besteht in einer unspezifischen Bindung des Proteins an die DNA, gefolgt von einer Reihe von Dissoziations- und erneuten Assoziationsschritten und/oder einer eindimensionalen Diffusion entlang der DNA, bis die Zielsequenz erreicht ist. Jetzt finden Konformationsänderungen der Reaktionspartner statt, die zur Aktivierung des katalytischen Zentrums und anschließender DNA-Spaltung führen. Der letzte Schritt ist die Dissoziation der Reaktionspartner.

Bei diesem komplexen Reaktionszyklus ist eine Vielzahl von Einzelschritten beteiligt. Die unspezifische Protein-Nukleinsäurewechselwirkung beruht im wesentlichen auf elek-

---

\* Vortrag gehalten in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.



trostatischer Anziehung zwischen dem negativ geladenen Polyelektrolyten DNA und positiv geladenen Aminosäureseitenketten im Protein. Diese Wechselwirkung ist gleichzeitig die Grundlage der linearen Diffusion. Für die hochspezifische Erkennung der eigentlichen Zielsequenz wird das ganze Spektrum der so genannten schwachen Wechselwirkungen eingesetzt: die genannten elektrostatischen Wechselwirkungen, Wasserstoffbrücken zwischen Aminosäureseitenketten im Protein und Nukleinsäurebasen und van der Waals Kontakte. Der Erkennungsprozeß ist hochredundant, so dass in vielen Positionen der Erkennungssequenz Basenpaare ohne nennenswerte Konsequenzen für die Spaltungseffizienz ausgetauscht werden können.

Als gänzlich neues Prinzip der enzymatischen Katalyse wurde in den von uns untersuchten Systemen (s. o.) das Prinzip der „Substratunterstützten Katalyse“ entdeckt: Bei der Nukleinsäurespaltung handelt es sich um eine Phosphoesterhydrolyse, die Säure-Base katalysiert abläuft; aufgrund der bereits bekannten Struktur des Protein-DNA-Komplexes konnte zwar die Ligandenbindung des essentiellen Cofaktors  $Mg^{2+}$  festgelegt werden, jedoch keine Aminosäureseitenketten, die ein geeignet positioniertes Wassermolekül zur Spaltung der Phosphoesterbindung aktivieren konnten. Durch eine Vielzahl von Experimenten konnten wir nachweisen, dass diese Wasseraktivierung von dem negativ geladenen Sauerstoff der Phosphatgruppe, die der zu spaltenden Bindung benachbart ist, übernommen wird. Inzwischen konnte dieses neue Prinzip auch für andere an Nucleotidyl- oder Phosphoryltransfer beteiligte Enzyme nachgewiesen werden. Eine ausführliche Darstellung des Prinzips der „Substratunterstützten Katalyse“ ist nachzulesen in *PNAS Proc. Natl Acad. Sci. USA* 90, 8499-8503 (1993).

---

Prof. Dr. rer. nat. Günter Maaß  
Im Eichholz 27  
D-30657 Hannover



KARL SCHÜGERL, Hannover

## Neue Entwicklungen in der Bioreaktionstechnik

Braunschweig, 05.11.1999\*

In den letzten Jahrzehnten haben unsere molekularbiologischen Kenntnisse stark zugenommen. Ihre Anwendung in der industriellen Praxis insbesondere zur Produktion von rekombinanten Proteinen wird oft Gentechnik genannt. Zu ihrer erfolgreichen Nutzung in der Industrie benötigt man mehr Informationen über die Regulation der Mikroorganismen und Zellen, über die Struktur der Produkte und fortgeschrittene Prozessführung, d.h. bessere Messmethoden zur Überwachung der Vorgänge in Bioreaktoren, genauere mathematische Modelle über das Verhalten der Mikroorganismen und Zellen während ihres Wachstums und ihrer Produktbildung, als bisher bei klassischen Verfahren verwendet wurden. Mit Hilfe der verfeinerten Messtechnik und mathematischen Modelle lassen sich die Prozesse besser regeln.

Auch zur Gewinnung und Reinigung der Produkte werden neue Techniken benötigt. Die erforderliche hohe Qualität der Produkte wird mit hochentwickelten analytischen Methoden kontrolliert.

Im Folgenden wird eine Übersicht über die neuen Entwicklungen der Produktbildung, die in Bioreaktoren erfolgt, berichtet. Die Aufarbeitung der Produkte wird nicht behandelt.

### Prozeßüberwachung

In herkömmlichen biotechnologischen Produktionsprozessen werden nur die Temperatur, der pH-Wert und die Abgaszusammensetzung kontinuierlich überwacht. Chemisch spezifische Analysen erfolgen nach dem Abschluß des Prozesses in den analytischen Laboratorien. Die Analysenergebnisse stehen erst nach einigen Tagen seit dem Abschluss des Prozesses zur Verfügung. Daher ist es nicht möglich, die Produktion aufgrund dieser lang andauernden chemischen- biologischen Analysen zu führen.

Zur Regelung werden *in situ* und on-line Analysenverfahren mit sehr kurzen Antwortzeiten benötigt. In den letzten Jahren wurde zunehmend die Fließinjektionsanalyse (FIA) zu nasschemisch-biologischen Reaktionen eingesetzt. Nach einer schnellen Probeentnahme und -vorbereitung wird eine kleine, gut definierte Probemenge in einen kontinuierlich fließenden Trägerstrom, der das Reagens enthält, injiziert. Die gesuchte Verbindung (Analyt) reagiert mit dem Reagens und das gebildete Produkt wird in einem Detektor nachgewiesen. Die Analyse und die Auswertung des Detektorsignals erfolgen innerhalb von wenigen Minuten. Daher kann diese Information zur Prozessregelung verwendet werden.

---

\* Kurzfassung eines Vortrages gehalten in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Da die zu bestimmenden Analyten von den begleitenden Komponenten nicht getrennt werden, muss die Detektion hochspezifisch sein. Oft werden Enzym- und Antikörperreaktionen zur Detektion verwendet. Miniaturisierte Biosensoren eignen sich besonders gut zur Detektion, die durch die Reaktion verursachten Änderungen der Temperatur, des pH-Wertes, der Gelöstsauerstoffkonzentration, Farbe usw. in elektrisches Signal umzuwandeln. Mehrkanal-FIA-Systeme wurden zur Überwachung und Regelung der Produktion von Antibiotika, Enzymen und therapeutisch wichtigen Proteine eingesetzt. Spezielle Techniken, wie Nahe-Infrarot-Fourier-Transformations (NIR-FT)-Spektroskopie und zweidimensionale (2D)-Fluoreszenz-Spektroskopie wurden zur *in situ* Prozessüberwachung eingesetzt. Mit diesen Techniken lassen sich die Konzentrationen mehrerer Analyten bestimmen. Dasselbe gilt auch für die HPLC (High Performance Liquid Chromatography). Sie eignet sich jedoch nicht zur Prozessregelung, da sie nicht schnell genug ist. Sie kann jedoch zur Kontrolle der FIA-Systems verwendet werden.

Oft wird die Zellkonzentration in den Kultivierungsmedien durch die Messung der Lichtabsorption (Optische Dichte, OD) bestimmt, die jedoch durch Feststoffteilchen und Verfärbung des Mediums beeinträchtigt wird. Andere Verfahren verwenden optische, elektrochemische, kalorimetrische, akustische oder fluorometrische Methoden zur on-line Bestimmung der Zellkonzentration. Wenn jedoch nicht nur die Zellzahl, sondern auch die Vitalität der Zellen bestimmt werden soll, müssen mikroskopische Methoden herangezogen werden. Mit Transmissions- oder Direktlicht-Mikroskopie läßt sich die Morphologie und Vitalität der Mikroorganismen und Zellen *in situ* bestimmen. Zur Ermittlung der Morphologie myzelbildender Mikroorganismen wird digitale Bildanalyse eingesetzt und mit aufwendigen Methoden 15 bis 20 charakteristische Größen ermittelt. Die Zahl der morphologischen Parameter, die zur Prozessführung verwendet werden, lässt sich durch ein geeignetes ANN (Artificial Neural Network) reduzieren. Zur Bestimmung der Physiologie der Mikroorganismen lassen sich mehrere off-line Methoden verwenden. Die Lokalisierung der Proteinsynthese erfolgt in den Sporen, Hyphen oder Pellets durch Acridin Orange Färbung der messenger RNA (mRNA) und die Lokalisierung der wachsenden Zellen durch Bromdeoxyuridin-Immuno-Labeling der replikating DNA.

Bei Verwendung von festen Substraten, z.B. Weizenkleie, greifen die Pilzhypen die Samenschale an und bauen sie durch Enzyme (Hydrolasen) ab. Die Lokalisierung der Enzyme im Zytoplasma des Myzels und der Weizenkleie kann man durch Immuno-Glodmarkierung bestimmen. So lässt sich die Bildung der Enzyme im Zytoplasma, ihre Wanderung zur Plasmamembran, ihre Ausscheidung und Anreicherung an den Kontaktstellen der Hyphen mit dem Pilzmyzel sichtbar machen und verfolgen.

### Reaktormodellierung

Zur Kultivierung von Mikroorganismen und Zellen und zur Produktion werden am häufigsten Rührkesselreaktoren verwendet. Es wird angenommen, dass in gut gerührten Laboratoriumsreaktoren ideale Durchmischung vorliegt. Bei kontinuierlicher Prozessführung herrschen in solchen Reaktoren unter stationärem Zustand zeit- und ortsunabhängige Proseßvariablen vor. Die Modellierung dieser Reaktoren ist daher sehr ein-

fach. Auch werden Säulenreaktoren ohne und mit Rückführung verwendet. Die Vorgänge in kleineren Säulenreaktoren lassen sich mit eindimensionalen partiellen Differentialgleichungen beschreiben. Bei größeren Reaktoren müssen die lokalen Heterogenitäten berücksichtigt werden. In einphasigen Rührkesselreaktoren werden die Transportgleichungen, die das momentane Verhalten der Strömung beschreiben, durch das Navier-Stokes-Gleichungssystem und die Kontinuitäts-Gleichung beschreiben. Bei zweiphasiger Strömung wird die Euler-Methode verwendet, die sowohl die kontinuierliche Phase als auch die dispergierte Phase als Kontinuum behandelt (Zwei-Fluid-Modell).

Nach der Euler-Lagrange-Methode wird die kontinuierliche Phase als Kontinuum und die dispergierte Phase als Einzelpartikel behandelt. Die relativen Geschwindigkeiten der Phasen werden aus dem Slip-Modell berechnet. Hierbei werden die Kräfte, die an der Phasengrenze wirken, vernachlässigt. Da in gut durchrührten Rührkesseln Turbulenz vorliegt, kombiniert man die Euler-Methode mit dem  $k$ - $\varepsilon$ -Turbulenz-Modell. Die  $k$ - $\varepsilon$ -Modelle bestehen aus zwei Transportgleichungen: eine für die turbulente kinetische Energie  $k$  und die andere für die Energiedissipationsrate  $\varepsilon$ . Diese Modelle sind in der Lage, auch die Strömungsfelder in unmittelbarer Nähe der rotierenden Rührer zu beschreiben.

Nur für Blasensäulenreaktoren existieren Lösungen mit der Euler-Lagrange-Methode. Durch diese Modelle lassen sich auch die Verteilungen der Phasen und der Gelöstsauerstoff in den Reaktoren ermitteln.

### Stoffwechselmodelle

Die Wechselwirkung zwischen den Zellen und ihrer Umgebung im Reaktor ist entscheidend für den Gesamtprozess. Daher werden neben die fluiddynamischen Vorgänge in Reaktoren auch das Wachstum der Zellen und die Produktbildung mathematisch modelliert. Das klassische Monod-Modell beschreibt das Wachstum nur schlecht. Daher wurden aufwendigere Modelle entwickelt, die Wechselwirkung unterschiedlicher Bereiche der Zellen berücksichtigt (Kompartiment-Modelle). Mit zunehmender Zahl der Bereiche lassen sich die Vorgänge in der Zelle immer besser annähern. Für myzelbildende Mikroorganismen wird die Auskeimung der Hyphen aus den Sporen, ihr Wachstum und ihre Entwicklung z.B. zu Pellets mit aufwendigen Modellen beschrieben.

Der zentrale Stoffwechsel der Mikroorganismen und Zellen und die Biosynthese der Produkte ist recht gut bekannt. Die einzelnen Enzyme wurden aus den Zellen isoliert und ihre Aktivität *in vitro* bestimmt. Die *in vitro* bestimmte Enzymkinetik kann jedoch nur ein qualitatives Bild über die Vorgänge in den Zellen geben. Daher wurde der Stoffwechsel von manchen Zellen mit *in vivo* Kernresonanzspektrometer (NMR)-Messungen bestimmt. Wegen der geringen Empfindlichkeit dieser Methode ist ihre Anwendung beschränkt und wegen ihrer Trägheit der Messungen lassen sich in dieser Weise keine dynamischen Daten gewinnen.

Durch die verbesserte Messtechnik, die Gentechnologie und die großen Computerkapazitäten ist es möglich geworden, den intrazellulären Stoffwechsel zu modellieren. Die intrazelluläre Stoffflussanalyse ist eine auf Messdaten gestützte Methode zur Quantifizierung von Stoffflüssen in einem Stoffwechselabschnitt einer Zelle. Sie ist wesentlicher

Bestandteil von *metabolic engineering*. Drei Methoden werden zur Informationsgewinnung verfolgt: a) Stationäre Stoffflussanalyse (*metabolic flux analysis, MFA*); b) Metabolische Kontrollanalyse (*metabolic control analysis, MCA*); c) Kinetische Modelle von Stoffwechselnetzwerken.

Die stationäre Stoffflussanalyse benutzt ein stöchiometrisches Modell der wichtigsten intrazellulären Reaktionen und Massenbilanzen, um intrazelluläre Stoffflüsse zu schätzen. Dazu werden extrazelluläre Flüsse (Substratsaufnahme-, Produktbildungsrate, Zellzusammensetzung) benutzt. Da die zur Verfügung stehenden Informationen nicht ausreichen, werden Annahmen über den Energiehaushalt der Zelle getroffen. Diese Annahmen entfallen, wenn zusätzliche Messinformationen über  $^{13}\text{C}$ -Markierungsexperimente mit NMR-Messungen vorliegen.

Die metabolische Kontrollanalyse dient zur Identifikation der flusskontrollierenden Reaktionsschritte in einem metabolischen Netzwerk. Hierzu werden *Elastizitätskoeffizienten (EKs)* und *Kontrollkoeffizienten (KKs)* ermittelt. EK beschreibt die differentielle Änderung der enzymatischen Reaktionsgeschwindigkeit bei einer differentiellen Änderung der Metabolitkonzentration. Die Anwendung *in vitro* gemessener intrazellulärer Enzymaktivitäten und Metabolitkonzentrationen ist allerdings problematisch. KK beschreibt die differentielle Änderung des stationären Stoffflusses durch einen Stoffwechselweg bei einer differentiellen Änderung der Enzymaktivität.

Kinetische Modelle von Stoffwechselnetzwerken verknüpfen Ergebnisse der stationären Stoffflussanalyse und der metabolischen Kontrollanalyse und können zur Analyse dynamischer Änderungen von Metabolitkonzentrationen eingesetzt werden. Die Identifikation der kinetischen Modellparameter muss mit Hilfe von *in vivo* Konzentrationsabläufen intrazellulärer Metabolite erfolgen. Diese Technik wird z.Zt. entwickelt.

### Prozessregelung

Einige Kontrollvariablen des Reaktors werden mit Fixpunktregelung, PI- oder PID-Regler und einfachem Rückkoppelungskreis auf dem optimalen Wert gehalten. Diese sind die Rührerdrehzahl (PI), die Temperatur (PID), der Gasdruck (PI) und die Strömungsgeschwindigkeit (PI). Bei anderen Kontrollvariablen muss adaptive Regelung verwendet werden. Eine solche Kontrollvariable ist z.B. die Gelöstsauerstoffkonzentration, die bei Anwendung von Antischaummitteln starken Schwankungen unterworfen ist. Manche Prozessvariable, z.B. Zellmassenkonzentration, kann nicht on-line gemessen werden. Daher wird das Messgerät durch einen Beobachter ersetzt, der aus messbaren Daten die Kontrollvariable berechnet und die Rückkoppelung den neuen Bedingungen anpasst.

Bei der gleichzeitigen Verstoffwechselung mehrerer zugeführter Substrate benötigt man eine optimale Strategie zur Regelung der Zufütterung. Dazu wird ein mathematisches Modell benötigt, das die Optimierung der Zufütterungsstrategie ermöglicht. So eine fortgeschrittene Regelung wird z.B. bei der Produktion von Cephalosporin C durch *Acremonium chrysogenum* verwendet, bei der Zucker und Sojaöl als Substrate gleichzeitig verwendet werden. Besonders schwierig ist die optimale Regelung von Bioprozessen, bei denen kaum Messdaten zur Verfügung stehen. So ein Prozess ist die Bierproduktion, bei der in

acht 300 m<sup>3</sup> großen Bioreaktoren nur die Temperatur on-line gemessen wird. Es wurde ein Hybrid Anlagenmodell entwickelt, das die mathematischen Gleichungen der einzelnen Phasen des Wachstums und der Produktbildung sowie die Erfahrungen der Braumeister beinhaltet. Der allmähliche Übergang von einer Phase in die andere, wobei die Phasen mit verschiedenen mathematischen Gleichungen beschrieben werden, erfolgt mit dem Fuzzy-Logic. Die Qualität der Modelle wird während der Produktion mit ANN ständig verbessert. Mit diesem Modell lässt sich die Fermentation optimal fahren und ihre Dauer sehr genau voraussagen, was für die optimale Nutzung der Lagerkapazität wichtig ist. Während der Fermentation steigt die Temperatur. Um die Reaktion in optimalem Temperaturbereich zu halten, muss der Reaktor gekühlt werden. Das kostet jedoch Geld. Da während der Nacht die Stromkosten geringer sind, wird die Fermentation so gefahren, dass tagsüber die Temperatur im Reaktor ansteigt und nachts wird er gekühlt. Dabei dürfen die Abweichungen von der optimalen Temperatur 0.5 C° nicht übersteigen. Mit Hilfe der Hybrid-Modell-Regelung konnten die Kosten der Bierproduktion um 20% reduziert werden.

### Schlussfolgerung

Diese Übersicht zeigt, dass verschiedene Forschungsgruppen in der Bioreaktionstechnik in den letzten Jahren große Fortschritte erzielt haben.

In den nächsten Jahren werden die dynamischen Methoden zur Stoffflussanalyse verbessert. Die Erstellung kinetischer Modelle von Stoffwechselnetzwerken sowie die Verbesserung der Prozesse durch *metabolic engineering* wird dadurch ermöglicht. Wichtig ist die zukünftige Verbindung der Stoffwechselmodelle mit den Reaktormodellen, um ihre Wechselwirkung quantitativ zu erfassen.

Die Ergebnisse dieser Forschung werden nicht nur unsere Grundlagenkenntnisse verbessern, sondern auch den Wirkungsgrad der Bioprozesse erhöhen und die Produktionskosten reduzieren.

---

Prof. em. Dr. Dr. h.c. Karl Schügerl  
Institut für Technische Chemie der Universität Hannover  
Callinstraße 3 · D-30167 Hannover



HANS GEORG MUSMANN, Hannover

## **Entwicklungstendenzen in der Kommunikationstechnik**

Hannover, 21.05.1999\*

### **Zusammenfassung**

Unter dem Einfluß der schnellen Entwicklung der Mikroelektronik und optischen Nachrichtentechnik vollzieht sich ein Strukturwandel der Informations- und Kommunikationstechnik, der sich von der Übertragungstechnik bis hin zu den Endgeräten und Diensten der zukünftigen Telekommunikation erstreckt.

Nach einer kurzen Erläuterung der wesentlichen Merkmale der oben angeführten beiden Basistechnologien wird die Entwicklung der Übertragungsnetze dargestellt. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß verschiedenartige Nachrichtensignale, wie beispielsweise Sprach- und Datensignale, nicht mehr über getrennte Netze sondern mittels einer einheitlichen digitalen Darstellungsform über ein und denselben Kanal und über das gleiche Netz übertragen werden können. Es entsteht ein weltumfassendes Glasfasernetz mit großen Übertragungskapazitäten. Für den Zugang des Teilnehmers stehen lokale Kupfernetze und Mobilfunknetze zur Verfügung, die derzeit den Engpaß bezüglich der Übertragungskapazität bilden.

Die vorhandenen Kupfernetze ermöglichen mit Hilfe eines ISDN-Modems die Übertragung von  $2 \times 64$  kbit/s, d.h. von zwei Sprachsignalen in beiden Richtungen. Neue ADSL-Modems übertragen in Richtung zum Teilnehmer bis zu 2 Mbit/s. Der GSM-Mobilfunk erlaubt die Übertragung von 13,4 kbit/s für ein Sprachsignal je Kanal. In neuen GSM-Mobilfunksystemen können auch zwei oder mehrere 13,4 kbit/s-Kanäle gebündelt werden. Mit dem zukünftigen UMTS-Mobilfunk können bis zu 1,5 Mbit/s je Teilnehmer übertragen werden.

Die Übertragungskapazität dieser Zugangsnetze reicht aber noch nicht aus, um Bewegtbilder in Fernsehformat zu übertragen. Es wird erwartet, daß neue datenreduzierende Codierungsverfahren in Zukunft die Datenrate eines Fernsehsignals von 4 Mbit/s nach MPEG 2 auf 1,5 Mbit/s reduzieren. Erst damit können dann auch Bewegtbildsignale in Fernsehformat über die Zugangsnetze übertragen werden.

Der Fernsehrundfunk kann als der erste Multimedia-Dienst angesehen werden, bei dem gleichzeitig ein Bewegtbild- und ein Tonsignal übertragen werden. Multimedia-Dienste der Zukunft werden darüber hinaus weitere Nachrichtensignale in die Kommunikation einbeziehen, wie z.B. Texte, Faksimile und 3D-Informationen. Das INTERNET ermöglicht multimediale Informations- und Kommunikationsdienste mit der Möglichkeit, die ausgetauschten Informationen interaktiv zu beeinflussen.

---

\* Kurzfassung des Vortrags gehalten in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Bild 1 zeigt die verschiedenartigen Dienste, die das INTERNET im Rahmen des E-Commerce bietet. Die vielseitige Nutzung des INTERNET hat zu einer Wachstumsgeschwindigkeit geführt, die alle anderen Massenmedien übertrifft, s. Bild 2. Der über das INTERNET abgewickelte E-Commerce hat außergewöhnliche Umsatzsteigerungen, die in Bild 3 dargestellt sind.

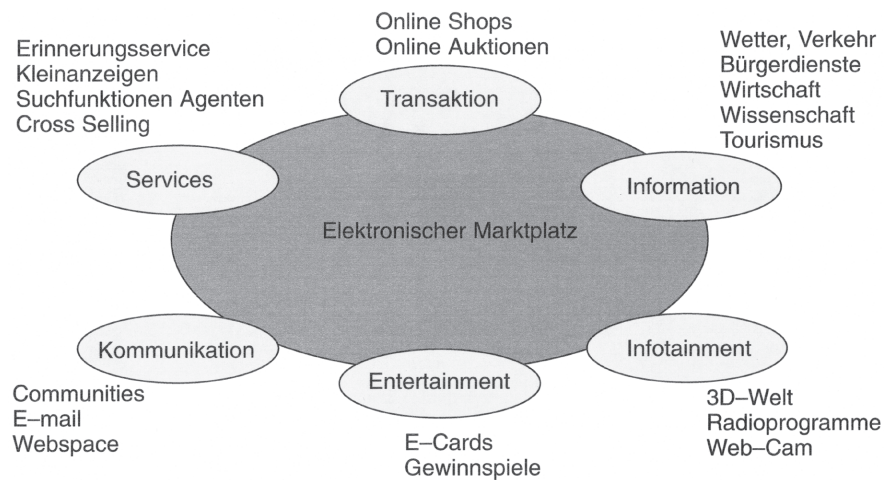
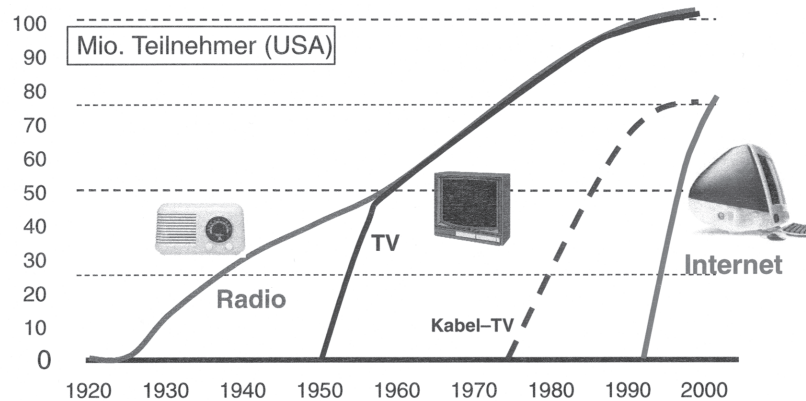


Bild 1: Dienstangebot im E-Commerce



Quelle: Morgan Stanley

Bild 2: Wachstum verschiedener Massenmedien



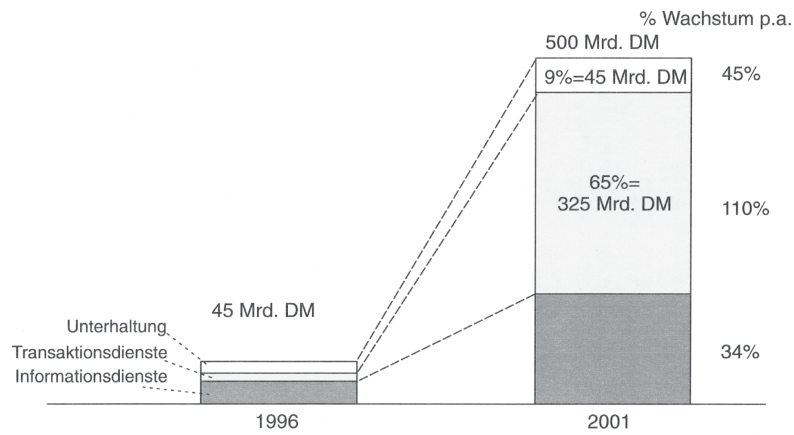


Bild 3: E-Commerce in den G 7-Ländern

Mit dem Übergang zu 3D-Informationen werden in Zukunft mit Hilfe von Rechnern virtuelle Objekte und virtuelle Szenen darstellbar, in denen man sich interaktiv bewegen kann. Die Kombination dieser Multimedia-Technologie mit den oben genannten Übertragungsnetzen wird ganz neuartige Formen der Telekommunikation ermöglichen.



KARL POPP, Neustadt/Nds.

## **Nichtglatte dynamische Systeme - Beispiele und Analysemethoden -**

Baunschweig, 05.11.1999\*

### **1. Motivation**

Nichtglatte dynamische Systeme gewinnen im Ingenieurbereich und anderen Anwendungswissenschaften zunehmend an Bedeutung. In mechanischen Systemen führt die Berücksichtigung von Reibungs- und Stoßeckeffekten zu unstetigen Kennlinien in den Modellgleichungen. Auch in der Beschreibung elektrischer Schaltkreise und neuronaler Netze treten nichtglatte Phänomene durch Schalterfunktionen bzw. Potentialentladungen auf. Schon sehr einfache niedrigdimensionale mathematische Modelle weisen eine komplexe nichtglatte Dynamik auf. Die klassischen Methoden zur Analyse dynamischer Systeme sind auf solche Modelle in der Regel nicht anwendbar. Über die Einbettung unstetiger Differentialgleichungen in die Theorie der Differentialinklusionen lassen sich Erkenntnisse über die Existenz- und Eindeutigkeit, sowie die Stabilitätseigenschaften von Lösungen solcher Systeme gewinnen. Bei komplexeren Systemen unter Nebenbedingungen, wie z. B. Mehrkörperprobleme, kann die Theorie der Linearen Komplementarität nutzbringend angewendet werden. Probleme der Verzweigungstheorie und Berechnung von Attraktoren sind aktuelle Fragen in der Forschung. Auch im Bereich der numerischen Lösung unstetiger Differentialgleichungen sind in den vergangenen Jahren wesentliche Fortschritte erzielt worden.

Zusammenfassende Darstellungen über nichtglatte Systeme finden sich in [1] bis [7]. Spezielle Fragen der Numerik, Optimierung und Verzweigungstheorie werden in [8], [9] bzw. [10] angesprochen.

### **2. Beispiele**

Die Vielzahl der Beispiele nichtglatter Systeme läßt sich im Hinblick auf technische Anwendungen in zwei Hauptgruppen einteilen. Systeme mit Stößen und Systeme mit Reibung. Fig. 1 zeigt eine Zusammenstellung einfacher Stoßprobleme mit den zugehörigen mechanischen Modellen. Eine ausführliche Beschreibung entsprechender technischer Fragestellungen findet sich in [4].

Die trockene Reibung tritt in der Natur in zwei grundsätzlich unterschiedlichen Formen auf:

- Als Widerstand gegen den Beginn einer Bewegung aus der Ruhe heraus (Haftreibung). Die zugehörige Reibungskraft ist eine Reaktionskraft.
- Als Widerstand gegen eine vorhandene Bewegung (Gleitreibung). Die zugehörige Reibungskraft ist eine eingeprägte Kraft.

---

\* Vortrag in der Klasse der Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

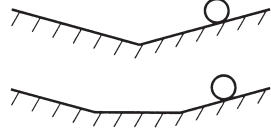
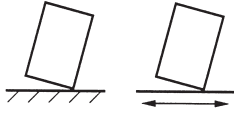

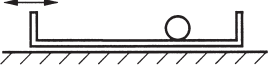
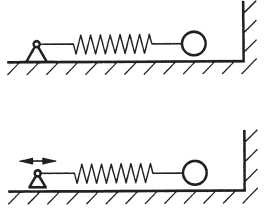
Schwinger mit Stößen	Mechanisches Modell
1. Schwinger mit stückweise konstanter Rückführkraft ohne und mit Totbereich	
2. Schwingender Klotz ohne und mit Fremderregung	
3. Springball mit harmonischer oder zufälliger Fremderregung	
4. Fremderregter Schwinger mit Spiel und Stößen	
5. Stoßschwinger ohne und mit Fremderregung	

Fig. 1: Schwingungsprobleme mit Stößen

Fig. 2 zeigt eine Auflistung von Schwingungsproblemen mit Reibung einschließlich der zugehörigen mechanischen Modelle. Dabei können die beiden genannten Phänomene in einem Schwinger zeitlich nacheinander auftreten und zu Haft-Gleit-Zuständen mit nicht-glaten Übergängen führen. Einzelheiten findet man in [4].

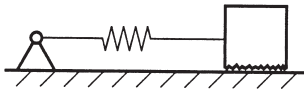
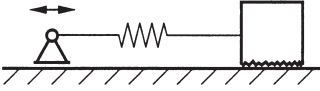
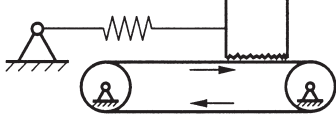
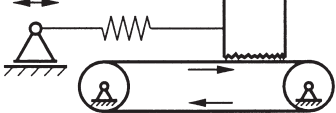
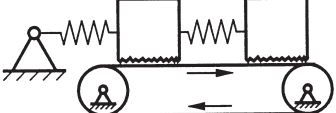
Schwinger mit Reibung	Mechanische Modelle
1. Reibungsschwinger ohne Erregung	
2. Reibungsschwinger mit Fremderregung	
3. Reibungsschwinger mit Selbstbewegung	
4. Reibungsschwinger mit Selbst- und Fremderregung	
5. Reibungsschwinger mit mehreren Freiheitsgraden	

Fig. 2: Schwingungsprobleme mit Reibung

### 3. Analysemethoden

Die Analyse nichtglatter Systeme kann grundsätzlich signalgestützt (z. B. durch Auswertung von Zeitreihen) oder modellgestützt auf der Basis einer zeitdiskreten oder zeitkontinuierlichen mathematischen Beschreibung erfolgen. Beschränkt man sich auf eine

zeitkontinuierliche Darstellung durch gewöhnliche Differentialgleichungen im Zustandsraum und betrachtet zwei unterschiedliche zustandsabhängige Schaltzustände  $p$  und  $q$  des Systems, z. B. Haften oder Gleiten, so umfaßt die Beschreibung nichtglatter Systeme folgende Bestandteile [11]:

- 1) Eine Beschreibung der glatten Systeme für jeden Schaltzustand.
- 2) Eine Indikatorfunktion, die das Auftreffen auf die Schaltfläche im Zustandsraum anzeigt und den zugehörigen Umschaltzeitpunkt für den nichtglatten Übergang definiert.
- 3) Eine Transitionsbedingung, die angibt, wie der Übergang von einem Schaltzustand zum anderen erfolgt.

Somit gilt:

- 1) Vor dem Umschalten ( $t < t^*$ ):

$$\dot{z} = f_p(z), \quad z(t_0) = z_0, \quad f_p \in C^1. \quad (1)$$

Nach dem Umschalten ( $t > t^*$ ):

$$\dot{z} = f_q(z), \quad z(t_+^*) = z_+, \quad f_q \in C^1. \quad (2)$$

- 2) Schaltfläche  $S_p$  und Indikatorfunktion  $h_p$

$$S_p = \{ z \in \mathbb{R}^n \mid h_p(z) = 0 \}. \quad (3)$$

- 3) Transitionsbedingung

$$z(t_+^*) = u_{pq}[z(t_-^*)]. \quad (4)$$

Für nichtglatte Systeme mit einer Sequenz gleichartiger Umschaltungen (z. B. vom Haften zum Gleiten) hat sich eine ereignisgesteuerte Abbildung bewährt, bei der die entsprechenden Zustände in der Schaltfläche aufeinander abgebildet werden. Die Analysemethoden hängen im einzelnen von der gewählten Beschreibungsart ab, die Ergebnisse (z. B. die Ljapunov-Exponenten) lassen sich jedoch ineinander überführen, vgl. [11].

### Literatur

- [1] MOREAU, J. J.; PANAGIOTOPOULOS, P. D. (Eds.): Nonsmooth mechanics and applications. CISM Courses and Lectures No 302. Springer, Wien 1988.
- [2] PFEIFFER, F.; GLOCKER, CH.: Multibody dynamics with unilateral contacts. John Wiley & Sons, New York 1996.
- [3] BROGLIATO, B.: Nonsmooth impact mechanics. Lecture Notes in Control and Information Sciences 220. Springer, London 1996. 2nd Edition, 1999.

- [4] POPP, K.: Non-smooth mechanical systems - an overview. *Forschung im Ingenieurwesen* 64, 1998, pp. 223-229.
- [5] KUNZE, K.: Non-smooth dynamical systems. Habilitationsschrift. University at Cologne, 1998.
- [6] MOON, F. C. (Ed.): New applications of nonlinear and chaotic dynamics in mechanics. Proceedings of the IUTAM-Symposium held in Ithaca, NY, July 27 - August 1, 1997. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht 1999.
- [7] PFEIFFER, F.; GLOCKER, CH. (Eds.): Unilateral multibody contacts. Proceedings of the IUTAM-Symposium held in Munich, August 3-7, 1998,. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht 1999.
- [8] LEMPIO, F.; VELIOV, V.: Discrete approximations of differential inclusions. *Bayreuther Mathematische Schriften* 54, 1998, pp. 1-83.
- [9] HILDING, D.; KLARBRING, A.; PETERSSON, J.: Optimization of structure in unilateral contact. *Appl. Mech. Rev.* 52, No. 4, 1999, pp. 139-160.
- [10] LEINE, R. I.; VAN DER VRANDE, B. L.; VAN CAMPEN, D. H.: Bifurcations in nonlinear discontinuous systems. Report WFW 99.010, Eindhoven University of Technology 1999.
- [11] OESTREICH, M.: Untersuchung von Schwingern mit nichtglatten Kennlinien. Dr.-Ing. Diss. Univ. Hannover. *Fortschr. Ber. VDI R.* 11, Nr. 258. VDI-Verlag, Düsseldorf 1998.

---

Prof. Dr.-Ing. Karl Popp  
Sauerbruchweg 49  
D-31535 Neustadt/Nds.





GREGOR MAURACH, Münster

**Vergils Weg zur Klassik**

Braunschweig, 15.01.1999\*

Nehmen wir einmal an, T.S. Eliot hätte Recht mit seiner Kennzeichnung Vergils als Klassikers<sup>1</sup>; wäre dann nicht unter vielen anderen auch die Frage zu stellen, auf welchem Wege er bis zu solcher Höhe gelangte? Nehmen wir weiter an, Vergil hätte um das Jahr 40 v. Chr. die Lust und die Kraft verspürt zu dichten, und natürlich: in eigenem, d.h. neuem Stil zu dichten, dann müsste man sich nach dem umsehen, was er vorfand und was er abzustreifen hatte. Er fand vor naturgemäss die hellenistische Dichtung, allen voran Kallimachos, den Dichter der kleinen, bis ins Letzte ausgefeilten, die ganze klassisch-griechische Tradition umfassenden und ins Intime umgegossenen Form. Und er fand die eigene, römische Dichtung, allen voran Ennius, den er in der Schule auswendig lernte, und Catull, der erst zehn Jahre tot war und der dem Lateinischen eine neue, schmiegsamere, jedoch vielfach verkünstelte, an den späten Hellenisten ausgerichtete Gestalt gegeben hatte. Und neben Catull die anderen lateinischen Dichter, die oft noch viel verkünstelter waren.

Was musste er da abstreifen? Beginnen wir mit dem schlechten Geschmack. In ein Epos über Caesars Gallienkrieg gehörte nicht das Wort „iugulare“ („um die Ecke bringen“, eigentlich „abkehlen“), und das Delta des Rheins durfte da nicht als „zerhacktes Haupt“ bezeichnet werden – Geschmacklosigkeiten, die für den Dichter Furius (wohl etwas früher als Vergil) bezeugt sind.

Fahren wir fort mit dem Müssigen: Der grosse Catull schrieb einmal einen Hymnus auf Diana, die Jagd- und Mondgöttin, deren griechische Entsprechung, Artemis, zugleich Mond-, Jagd- und Wegegottheit war; darum spricht er sie so an: „Du wirst auch Trivia (Göttin der Weggänge) genannt, Luna mit ihrem Borglicht“. Dass Catull die Diana, Griechisches hereinnehmend, Göttin der Dreiwege nennt, war zu erwarten, dass er aber das astronomische Detail des Borglichts nannte, war in einem Hymnus äusserst überflüssig. Derlei gelehrte Anspielungen waren zu meiden (Horaz in seinem Diana-Hymnus c. 3, 22 vermied sie denn auch).

Zu vermeiden war auch der überzählige Schmuck. Die Vorgänger und älteren Zeitgenossen Vergils, die bei den späten Griechen und ihrer überfeinerten Dichtung in die Schule gegangen waren, überspitzten, ballten, verrätselten und neuerten wie ihre Vorbilder; dazu kam der Wortballast der altlateinischen Dichtung, welche die Dinge gern zwei- und dreimal variierend ausgedrückt hatte. Diese Überfeinerungen und Überbelastungen waren abzustreifen, und heraus kam als mühsam erworbene neue Einfachheit ganz Neues etwa ein

---

\* Vortrag gehalten in der Klasse Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

<sup>1</sup> Edition Suhrkamp 33, 1963, 7 ff.

Gedicht wie dasjenige, das Vergil auf das Gütchen verfasste, das sein Gönner Siro ihm und seiner Familie schenkte als Ersatz für das im Zuge der norditalischen Enteignungen verlorene:

*Gütchen, das Du dem Siro gehörtest, und Du, ärmliches Land,  
doch ihm, dem Herrn, sogar Du ein Reichtum,  
mich empfehle ich hier, und die Meinen, zugleich, die stets ich geliebt,  
für den Fall, dass ich Schlimmes von zuhause vernehme,  
besonders den Vater. Du wirst ihm nun sein,  
was ihm Mantua war und Cremona zuvor<sup>2</sup>.*

Nicht nur war vieles abzustreifen, um zum Einfachen und durch seine Klarheit Schönen zu kommen, es musste auch eine klare Form und einfache Komposition gefunden werden, die nicht auf Überraschung aus war. In einer seiner frühesten Dichtungen, der Ekloge 3, liess Vergil noch ein Zwischenstück (die Huldigung an seinen damaligen Gönner Pollio) sowohl überraschend als auch störend hereinplatzen (v. 84/9); in seiner letzten Ekloge, in der wenige Jahre später gedichteten Ekloge 1, kommt derlei nicht mehr vor; vielmehr verläuft dies frühe Meisterwerk in ruhigem Flusse auf sein zu Recht berühmtes Ende zu.

Viel schwieriger war dann wohl das allmähliche Ergreifen der grossen Gegenstände und mit ihnen der dazugehörigen grösseren Form. Der Aufstieg von den Land- und Hirtengedichten, den sog. Eklogen, hinauf zu den vier Büchern über den Landbau, Büchern, die nicht weniger wollten und sollten, als den Römern das vor Augen zu bringen, was einst Rom gross gemacht hatte: die ehrliche, bescheidene Arbeit im Kleinen wie im Grossen, dieser Weg war schon beschwerlich genug. Vollends das Wagnis, die römische Geschichte zu dichten, und dies im übertreffenden Wettbewerb mit keinem Geringeren als Homer, das war ein gewaltiges. Nach der Erringung einer gereinigten, klaren und anschmiegsamen Sprache nun das Erarbeiten der Grossform, welche die Ilias und die Odyssee zugleich umfing. Das Wagnis gelang, wenigstens haben ihm das nunmehr zwei Jahrtausende dankbar bestätigt, nicht zuletzt ein grosser Dichter unserer Tage, T.S. Eliot, als er Vergil einen Klassiker nannte.

<sup>2</sup> Das Gedichtchen findet man in: P. Vergili Maronis Catalepton, hrsg. von R.E.H. Westendorp Boerma, Assen 1949, 95 ff. Meine Interpretation (Catal. 8 and Hellenistic Poetry, Acta Classica 12, 1969, 29/46) scheint bislang die eindringendste.

HANS KLOFT, Bremen

## **Geld und Wirtschaft** **Anfänge in der Antike**

Braunschweig, 21.05.1999\*

Es verwundert wenig, daß angesichts des nahenden Euros und des Auslaufens nationaler Währungen die Diskussionen um Wesen, Eigenart und Zukunft des Geldes zunimmt. Die Konjunktur für dieses Thema in den Medien betrifft nicht allein die ökonomischen Folgen dieser Entwicklung. Einer dpa-Meldung vom 19. April 1999, die in verschiedenen Tageszeitungen abgedruckt wurde, konnte man entnehmen: "Das Glück läßt sich nicht kaufen". Die Auswahl kritischer Stimmen zur Macht des Geldes, die dann ausgeführt wurde, umfaßte diverse Standpunkte und Personen: Papst Johannes Paul II. und den IG-Metall Chef Klaus Zwickel; den einflußreichen Manager und Milliardär George Soros und den Theologen und Soziologen R. Gronemeyer. Sie alle einte die bedrohliche, die absolute Macht des Geldes, welche als "erfolgreichste Religion aller Zeiten" wie es eine islamische Zeitschrift formulierte, traditionelle Glaubens- und Wertesysteme zu zerstören drohe. Und wenn man den Vorspann liest, ahnt man, daß die aktuelle Entwicklung und ihre kritische Bewertung eine historische Dimension besitzt, die bis in die Antike, ja möglicherweise noch weiter reicht.



Bild 1: Nomos aus Sybaris, ca. 520 v. Chr.

---

\* Vortrag gehalten in der Klasse für Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Gemeinhin setzen wir den Anfang des Münzgeldes ins späte 7. Jahrhundert v. Chr. Es spricht vieles dafür, daß in Lydien, d.h. in Kleinasien, wo sich altorientalische und frühgriechische Zivilisation gegenseitig durchdrangen und befruchteten, zum ersten Male abgewogenes und signiertes Edelmetall, das Elektron, als Münzgeld gehandelt wurde. Damit tritt ein stoffliches Medium seinen Siegeszug an, dessen Konvertierbarkeit alle anderen damals bekannten Stoffe weit übertraf. Tauschen bezeichnet bekanntlich ein ökonomisches und soziales Grundverhalten des Menschen. Der Mensch ist, wie es Georg Simmel prononciert gesagt hat, das tauschende Tier, weil im Akt des Tauschens ja stets ein Abwägen, Vergleichen, Versachlichen, und dies bedeutet: Objektivieren liegt, eine Leistung, über welche Tiere nicht verfügen.

Im Tausch, so Simmel, bekommen die Gegenstände eine andere Qualität: Sie drücken ihren Wert zueinander aus, ihre Gebrauchsfunktion tritt zurück und sie gewinnen einen objektiveren Status *im Hinblick* auf andere Güter. Getreide, Vieh, Textilien, einfache Metallwaren und abgewogene Edelmetalle – sie alle wurden in unterschiedlichen Kulturen als Austauschmittel gebraucht, vielfach unter weitgehender Vernachlässigung ihres Gebrauchswertes, wie wir es am Axtgeld, an den metallenen Kesseln und Dreifüßen im früharchaischen Griechenland beobachten können. Aber diese Medien waren verderblich, unhandlich, unflexibel, als Wertobjekte nur regional anerkannt und deshalb defizitär. Mit dem kleinen Klumpen Edelmetall, welcher durch Aufschrift und/oder Bild von autoritativer Seite die Bürgschaft erhält, daß es sich in Gewicht und Reinheit um eben dieses Stück Metall handelt, wird ein Zuwachs an Konvertierbarkeit und Ubiquität, schlicht an Funktion erzielt, die der Gesellschaft neue Räume eröffnen konnte, sich aber historisch erst allmählich durchsetzte. Teilbarkeit und unbeschränkte Verwertbarkeit, wie sie Simmel als Hauptvorteile des Geldes benennt, sind Ergebnisse von historischen und ökonomischen Prozessen. Dies gilt auch für das Problem der sogenannten Münzhoheit. Die Autorität, die dem Stück Edelmetall Gültigkeit zuspricht und für seine Qualität bürgt, zu Beginn möglicherweise gar nicht der "Staat", d.h. der Herrscher oder die Stadt, die *polis* gewesen. Bekannt und berühmt ist der sogenannte Phanesstater, eine der frühesten Elektronmünzen aus dem Umkreis von Ephesos (um 630 v. Chr.) mit der Inschrift: *Phan[e]jos emi sema* – ich bin das Zeichen des Phanes.



Bild 2 u. 3: Phanesstater aus Ephesos

Geld ist ein Erfordernis des entwickelten Tausches und Voraussetzung für den Handel. Diesen ökonomischen Grund nennt Aristoteles in seiner Politik. Es ist das Ergebnis einer gedanklichen Spekulation, die der große Philosoph rund 300 Jahre nach dem ersten Auftauchen der Münze anstellte. Nicht die Ökonomie, sondern die Religion war das treibende Motiv für die Prägung von Münzen, lautet eine andere, moderne Erklärung. „Heiliges Geld“ nannte B. Laum (1924) seine Studie, in welcher er das Entstehen des Münzgeldes aus den Opferverpflichtungen herleitete. Bezahlung und Schuldentilgung den Göttern gegenüber hätten am Anfang gestanden und seien dann für andere Zwecke profaniert und säkularisiert worden. Ein anderer Erklärungsversuch bringt die Entstehung der Münze mit der *Institutionalisierung* der Stadt seit dem 8. und 7. Jahrhundert v. Chr. zusammen. Wie die Polis die verschiedensten menschlichen Bereiche zu integrieren und zu objektivieren mußte und Normen für die Politik, das Recht und die Sozialordnung fand, so schuf sie sich auch im Münzgeld ein allgemein gültiges Austauschmittel und einen objektivierenden Wertmesser, der es möglich machte, Güter, menschliche Leistungen und personales Tun mit einer Chiffre, eben dem *nómisma* bzw. *chréma* auszudrücken. Die Münze ist so gesehen nicht allein ein Ausfluß städtischer Hoheit, sondern ein Mittel auf dem Wege zu einer städtischen Gesellschaft, ein Medium der Vergesellschaftung oder Sozialisation.



Bild 4: Nomos aus Metapont, ca. 520 v. Chr.

Alle drei Entstehungsbereiche: die Wirtschaft, die Religion, die Politik darf man im Rahmen der frühgriechischen Polis nicht zu sehr gegeneinander isolieren. Ohne eine Spezialisierung des Handwerks, ohne einen standardisierten Tausch über den Markt läßt sich die Stadtwerdung in Griechenland nicht verstehen. Die *agorá* gehört zur *polis*, das ökonomische zum politischen Moment. Auch die großen Heiligtümer haben im archaischen Griechenland ihren Anteil an der Stadtwerdung. Die Münze hilft also, daß komplexes menschliches Leben entsteht, sie ermöglicht urbane Existenz im eigentlichen Sinne.

Geld ermöglicht es, auf einer entwickelteren Stufe der Gesellschaft Güter und Dienstleistungen auszutauschen. Agrarprodukte, Metallwaren, Textilien, Holzgegenstände, Schmuck – sie sind erfahrungsgemäß nicht in einer Hand und nicht am gleichen Ort. Sie bedürfen eines objektivierenden Mediums, das ihren Austausch und ihre Verrechnung sichert, in den Worten des Aristoteles: *“Man muß also an einem einzigen Maßstab messen, wie vorhin gesagt. Dieser ist in Wahrheit das Bedürfnis (chréia), das alles zusammenhält”*. Geld kann diese Funktion des Austausches übernehmen, weil es vom stofflichen Gehalt der Güter absieht und sie über einen Leisten schlägt: Ein Paar Schuhe – vier Obolen, ein Liter Öl – eine Drachme, ein Aal – fünf Obolen, ein Mantel – acht Drachmen, ein Helm – zehn Drachmen, eine Hetäre für eine Nacht – zwei Drachmen. Wir sind gewohnt, derartige Preise in einem Warenkorb zusammenzufassen, wie man ihn aus der römischen Kaiserzeit, speziell aus Pompeji kennt, dessen vielfältige Löhne und Preise in Form von Graffiti und Dipinti überliefert sind.

VINVM 71	VINVM Asse I
PORCINAI	PORCINUM Asse I
VINVM 1/2 AS	VIINVM Asse Semis
CASIVM 1/2 AS	CASIVM Asse Semis
LEAVIA 1/2 AS	L GAVI denarios (?) VIII Semis
VINVM 1/2 AS	VINVM Asse Semis
CARNEM 1/2 AS	CARNEM Asse I
VINUM 1/2 AS	VINUM Asse I
	Wein für 1 As
	Schweinefleisch für 1 As
	Wein für 1 1/2 As
	Käse für 1 1/2 As
	des L. Gavius 8 1/2 As
	Wein für 1 1/2 As
	Fleisch für 1 As
	Wein für 1 As

Bild 5: Preisliste aus Pompeji

Wichtig ist die Tatsache, daß Geld Vorbedingung dafür ist, daß ganz unterschiedliche Leistungen miteinander in Beziehung gesetzt werden, seine Zeichenhaftigkeit für etwas, die Fähigkeit, etwas Stoffliches durch das Medium Geld zu bezeichnen und zu bewerten: das Zweifache, das Zehnfache, der fünfte, zehnte, zwanzigste Teil. Diese Differenzierung präzisiert den Tausch und setzt die Güter und Dienstleistungen in ein *quantitatives Verhältnis* zueinander. Man hat deshalb auch das Geld ein semantisches System genannt, ein Zeichen, Symbol für etwas, und seine universelle Fähigkeit, etwas durch etwas anderes auszudrücken.

Zeichenhaftigkeit und Objektivierung als die überragenden Leistungen von Geld – sie erhalten ihre besondere Problematik bei der Umsetzung von *personalen Werten*, dort also, wo menschliches Handeln verrechnet wird. Daß man den Totschlag eines Kriegers nicht mehr ausgleicht durch einen anderen Totschlag, sondern für ihn eine bestimmte Geldsumme festsetzt, daß man personelle Schädigungen und Verletzungen, etwa den Verlust eines Auges oder eines Fußes, durch Geldzahlungen entschädigen kann, daß die Raubehe durch die Kaufehe abgelöst wird – dies alles umschreibt menschlichen Fortschritt und erfordert Geldäquivalenzen, die erst einmal zu schaffen und innerhalb der Gesellschaft, zunächst der eigenen, dann möglicherweise darüber hinaus, durchzusetzen waren und anerkannt werden mußten. Insofern gibt der Wertmesser Geld nicht allein Auskunft über das Vorhandensein und das Spektrum von Gütern und Dienstleistungen, sondern macht auch den Grad der sozialen Anerkennung deutlich, die das soziale System der Zeit nicht minder kennzeichnet wie die Eigentumsverhältnisse.

In der Normierung des Individuellen, dem Ersatz persönlicher Leistung durch Geld, läßt sich, wie dies Simmel betont hat, ein Zuwachs an persönlicher Freiheit ausmachen. Wenn der hörige Bauer seine Dienstleistungen nicht mehr körperlich zu erbringen hat, sondern durch Geld ablösen kann, dann gewinnt er möglicherweise durch diese Objektivierung ein größeres Maß an Unabhängigkeit. Wenn Schätzungen und Steueraufkommen ihre Quantifizierung in Geld finden, dann kann dies für den betreffenden Produzenten wie für den Empfänger ein Mehr an Flexibilität bedeuten und ggf. Vorteile für beide Seiten bringen. Eine abschließende Bemerkung soll unsere Überlegungen zusammenfassen: Das Münzgeld hat in der Entwicklung der Menschheit Spuren, die in fast alle Bereiche hineinragen, die Ökonomie, die Politik, die Religion, die Kunst und die Ethik. Sich angesichts unseres rasanten Weges in eine *postmonetäre* Gesellschaft mit all den Verwerfungen, den dieser Übergang mit sich bringt, an diese gewaltige und umfassende Menschheitsprägung zu erinnern, ist sinnvoll und nötig. Es waren die Griechen, denen wir die Errungenschaft des Münzgeldes verdanken: die Sache und das Nachdenken darüber. Die Münze besitzt bekanntlich zwei Seiten. Es ist zuweilen nötig, auch Selbstverständliches in die Erinnerung zurückzurufen.

### Literatur

- BOGAERT, R., Reallexikon für Antike und Christentum (RAC) IX, 1976, 797ff. s.v. Geld, Geldwirtschaft.
- KLOFT, H., Die Wirtschaft der antiken Welt, eine Einführung, Darmstadt 1992.
- MARTIN, T. R., Why did the Greek Polis Originally Need Coins?, in: *Historia* 45, 1996, 257ff.
- NORTH, M. (Hrsg.), Von Aktie bis Zoll, ein historisches Lexikon des Geldes, München 1995.
- SIMMEL, G., Philosophie des Geldes (Berlin 1900), Berlin 1958.

---

Prof. Dr. Hans Kloft  
 Fachbereich 8/Sozialwissenschaften · Institut für Geschichte  
 Postfach 33 04 40, D-28334 Bremen





KLAUS ALPERS, Lüneburg

## **Livius-Rezeption in Bildwerken des Lüneburger Rathauses**

Braunschweig, 08.10.1999\*

Im Rathaus der alten Hansestadt Lüneburg finden sich zahlreiche kunsthistorisch bedeutende bildliche Darstellungen aus dem 16. Jahrhundert mit Szenen der römischen Geschichte, von denen der Historiker Titus Livius berichtet hat.

Seit 1970 wird im Lüneburger Museum ein aus dem Rathaus stammendes besonders attraktives Ausstellungsstück ausgestellt, die zwei Teile eines langen schmalen, hervorragend erhaltenen Wandteppichs aus dem 16. Jahrhundert, eines sogenannten Banklakens.

Die acht Bildfelder zeigen Szenen aus der römischen Geschichte des Titus Livius, genauer: aus dem 2. Punischen Kriege. Niederdeutsche Texte, die den Bildern beigegeben sind, sollen den Inhalt erläutern.

Das Banklaken stellt mehrere Probleme, die von der früheren Forschung nicht hatten geklärt werden können. Es war einerseits unklar, für welchen Ort im Rathaus und für welchen Zweck es geschaffen wurde, andererseits wurden für die Datierung weit differierende Ansätze gemacht, die von «um 1530» bis zu «um 1580» reichten. Die Bildbeischriften sind mehrfach so schwer lesbar, daß ihre vollständige und korrekte Entzifferung bisher nicht gelungen war und folglich auch das Bildprogramm nicht angemessen erschlossen werden konnte.

Die Länge des Banklakens von gut acht Metern und seine Breite von gut achtzig Zentimetern macht es wahrscheinlich, daß der Platz, für den es geschaffen wurde, die äußere Einfassung der gut acht Meter langen Holzschranke (der Vorgängerin der jetzt noch vorhandenen) war, die in der sogenannten Gerichtslaube des Rathauses den Ratsstuhl abgrenzt, den Raum, der für das Ratsregiment, seine Machtausübung und seine Repräsentation zentrale Wichtigkeit hatte.

Eine präzise Datierung kann mit Hilfe einer unbeachtet gebliebenen Eintragung in den Kämmereirechnungen, den städtischen Rechnungsbüchern, erreicht werden. Im Jahre 1528 wurden einem «Deckenmacher» Ambrosius für ein Banklaken von 12 Ellen 12 Mark gezahlt, für die Elle einen Gulden. Die beiden Teile des am Ende des 16. Jahrhundert zerschnittenen Banklakens messen mit Berücksichtigung des errechenbaren Schnittverlustes von ca. 7 cm etwa 8,22 m. Teilt man diese ehemalige Gesamtlänge durch 12, so erhält man für eine Elle den Wert von 0,685, was zwar nicht auf die in Lüneburg bis 1693 geltende Elle von 0,5760 m führt, aber sehr genau dem Wert der Brabanter Elle von 0,69 m entspricht. Das fremde Maß und der in Lüneburg fremde Name Ambrosius (oder vielleicht Ambrois) belegen zugleich, daß es sich um die Arbeit eines Ausländers handelt, wohl eines Nieder-

---

\* Vortrag vor der Klasse für Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

länders – in dem weiteren Sinne der damals noch ungeteilten Niederlande. Diese Beobachtung bestätigt ferner die stilistische Einordnung, die Hermann Schmitz in seinem 1922 in dritter Auflage erschienenen Buch «Bildteppiche. Geschichte der Gobelinwirkerei» vorgenommen hatte, daß nämlich die Szenen des Banklakens das Gepräge der Grenzateliers Flanderns und Frankreichs trage.

Der vermutete Bestimmungsort und die gewonnene Datierung passen aufs beste zu der Tatsache, daß die heute noch vorhandene Ausmalung der Gerichtslaube urkundlich und durch die auf einem der Gemälde angebrachte Jahreszahl auf 1529 datiert wird. Eine weitere Bestätigung liefert die Beobachtung, daß die Bild- und Textquellen des Banklakens der mit Holzschnitten ausgestattete Druck der deutschen Livius-Übersetzung von 1523 war: «Romische historien Titi Livii mit etlichen neuen Translationen, so kurtzverschieden jaren im hohen thum Styfft zu Mentz jm latein erfunden vnd vorhyn nit mer gesehen» (Abb. 1). Dasselbe Werk liegt, wie der Kunsthistoriker W. Pfeiffer schon 1961 ermittelt hatte, den meisten der Deckengemälde der Gerichtslaube zu Grunde. Mit Hilfe der Bild- und Textquellen, den Kapitelüberschriften des deutschen Livius, können die ins Mittelniederdeutsche übersetzten und vom Wirker stark verkürzt und korrupt wiedergegebenen Bildbeischriften vollständig entziffert werden. Das Banklaken (Abb. 2) wurde also zur selben Zeit und für denselben Raum mit einem verwandten Bildprogramm nach denselben Vorlagen konzipiert.



Abbildung 1



Abbildung 2

Gewöhnlich wird das Banklaken in der Literatur als «Geschichte des Massinissa und der Sophonisbe» bezeichnet. Damit ist aber das Bildprogramm nicht zureichend beschrieben. Überblickt man die acht Szenen, so wird man bemerken, daß die eigentliche Hauptperson der Römer Scipio ist. Der leitende Gedanke des Bildprogramms ist die Gegenüberstellung von «Tugenden» und «Lastern», besser: von virtutes und vitia. Scipio wird in Szene II als Muster der «Tugend und Keuschheit» vorgestellt, Massinissa ist offenbar als Bild der «Unkeuschheit» gedacht, da er erotischen Versuchungen nicht widersteht, sondern sich von Sophonisbe fesseln und gefährden läßt. Er muß sich daher von Scipio maßregeln lassen, wird aber auf den Weg der virtus und der Pflichterfüllung zurückgeführt. Die Thematik der Deckengemälde der Gerichtslaube und des Banklakens sind von geradezu erstaunlicher Aktualität; hier werden 1528/29 Stoffe aufgegriffen, die sozusagen «brandaktuell» waren. Die lateinische editio princeps des Livius war erst 1496 erschienen, es waren 1528 erst fünf Jahre vergangen, seit die direkten Bild- und Textvorlagen, der deutsche Livius, herausgekommen waren und speziell der Sophonisbe-Stoff war gerade erst vier Jahre zuvor in spektakulärer Weise durch Giangiorgio Trissino behandelt worden in seiner Tragödie – der ersten Tragödie der neueren Literaturgeschichte, mit der Trissino den Geist der griechischen Tragödie zu neuem Leben erwecken will – mit dem Titel Sofonisba, die 1514/15 entstand und 1524 in Rom zuerst gedruckt wurde. Die Deckengemälde der Gerichtslaube und die Bildszenen des Banklakens fügen sich gut in den Raum ein, für den sie geschaffen wurden, die Gerichtslaube des Rathauses, zwischen die Neun Guten Hel-

den des Mittelalters auf der einen Seite und das Weltgerichtsbild auf der anderen. Die Botschaften der Gemälde und des Banklakens, politisch-moralische Paränesen, stimmen mit deren Mahnungen zusammen.

---

Prof. Dr. phil. Klaus Alpers  
Kolberger Straße 12  
D-21339 Lüneburg

# **FEIERLICHE JAHRESVERSAMMLUNG 11. JUNI 1999**

## **ÖFFENTLICHE WISSENSCHAFTLICHE VORTRÄGE**

HERMAN SAHM, Jülich

### **Entwicklung von Bakterienstämmen zur Herstellung der essentiellen Aminosäure L-Lysin**

#### **1. Einleitung**

Aminosäuren sind als Bausteine der Proteine bei allen Lebewesen – Mensch, Tier, Pflanze, Mikroorganismus – essentiell. So besteht der menschliche Körper zu ca. 15-20 % aus Proteinen, die eine Vielzahl verschiedener lebensnotwendiger Funktionen erfüllen. Am Aufbau der Proteine sind zwanzig verschiedene Aminosäuren beteiligt, von denen der Mensch acht – z.B. L-Lysin – nicht selbst synthetisieren kann sondern mit der Nahrung aufnehmen muß. Im Durchschnitt benötigt der Mensch deshalb pro Tag etwa 70 g Proteine, um seinen Bedarf an essentiellen Aminosäuren decken zu können. Bei Aminosäuremangel kommt es zu Einschränkungen im Stoffwechsel, die Abwehrkräfte werden geschwächt, und über einen längeren Zeitraum führt ein Mangel an den lebenswichtigen Aminosäuren zu Störungen bei Organfunktionen und schließlich zum Tod.

Der Bedarf an proteinreichen Nahrungsmitteln wächst überdurchschnittlich mit den steigenden Ernährungsansprüchen der Weltbevölkerung, die in nur 11 Jahren von jetzt 6 auf 7 Milliarden Menschen im Jahr 2010 zunehmen wird (KIRCHER und LEUCHTENBERGER 1998). Mit klassischen Agrarmethoden wird diese 'Proteinlücke' nicht zu schließen sein, denn der wachsenden Weltbevölkerung wird pro Kopf immer weniger landwirtschaftliche Nutzfläche zur Verfügung stehen. Eine Möglichkeit zur Lösung dieses Problems besteht nun darin, bei pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln, die häufig einige der für Mensch und Tier essentiellen Aminosäuren nur in sehr geringen Mengen enthalten, durch Supplementierung mit diesen limitierenden Aminosäuren den Nährwert erheblich zu steigern. Der Nährwert von Weizenmehl ist beispielsweise aufgrund des geringen L-Lysingehaltes niedrig; durch Zugabe von 0,2 % L-Lysin kann der Nährwert verdoppelt werden.

Zur Zeit liegt der Weltmarkt für Aminosäuren bei über 1,5 Millionen Tonnen pro Jahr, was einem Marktwert von über 5 Milliarden DM entspricht (LEUCHTENBERGER 1996). So

---

\* Vortrag an dem wissenschaftlichen Kolloquium anlässlich der Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille



haben Aminosäuren eine große wirtschaftliche Bedeutung im Nahrungsmittelbereich, jährlich werden z.B. über 800.000 Tonnen L-Glutaminsäure als Geschmacksverstärker hergestellt. Im Futtermittelbereich werden insbesondere die Aminosäuren DL-Methionin (350.000 t/Jahr), L-Lysin (350.000 t/Jahr) und L-Threonin (15.000 t/Jahr) zur Erhöhung des Nährwertes eingesetzt. Aminosäuren sind aber auch im Bereich der Medizin von sehr großer Bedeutung, wie z.B. als wichtige Komponenten von Infusionslösungen oder Therapeutika. Ferner spielen Aminosäuren bei der Synthese von Agrochemikalien wie Herbiziden und Fungiziden eine wichtige Rolle.

Zur großtechnischen Herstellung von Aminosäuren gibt es verschiedene Verfahren. So können L-Aminosäuren aus Proteinhydrolysaten (z.B. die Aminosäure L-Cystein aus Haaren) gewonnen werden. Eine weitere Möglichkeit der Aminosäureproduktion bietet die chemische Synthese, wie z.B. die Produktion von DL-Methionin. Hierbei entsteht allerdings ein Racemat mit einem Anteil von 50 % D-Methionin und 50 % L-Methionin. Obwohl alle Lebewesen die Aminosäuren bis auf wenige Ausnahmen ausschließlich in der L-Form verwenden, kann Methionin als Racemat von unseren Haustieren verwertet werden. Die meisten Aminosäuren, die heute produziert werden, werden mit Hilfe von Bakterien oder Enzymen hergestellt, da bei diesen biotechnologischen Verfahren ausschließlich die biologisch aktiven L-Aminosäuren gebildet werden (ESAKI et al. 1996).

Die meisten Bakterien sind wohl in der Lage, die 20 lebensnotwendigen Aminosäuren aus einfachen Bestandteilen der Nährmedien zu synthetisieren. In der Regel produzieren die Mikroorganismen die einzelnen Aminosäuren aber nur in solchen Mengen, wie diese für die eigene Biosynthese von Proteinen und anderen Zellbestandteilen benötigt werden, so daß normalerweise nur sehr geringe Mengen ins Nährmedium ausgeschieden werden. Dies beruht darauf, daß die Organismen im Laufe der Evolution Mechanismen entwickelt haben, die im Sinne einer ökonomischen Ordnung die Produktion und Ausscheidung von Zellbestandteilen kontrollieren. So ermöglicht einerseits die Permeabilitätsbarriere die lebensnotwendige Anhäufung von Substanzen im Inneren der Zelle, und andererseits verhindern Kontrollmechanismen eine Überproduktion von Aminosäuren (NEIDHARDT et al. 1990).

Die Ära der mikrobiellen Aminosäureproduktion begann 1957, als Kinoshita und Mitarbeiter in Japan aus einigen tausend verschiedenen Mikroorganismen ein Bakterium selektionierten, das beim Wachstum auf einem einfachen Mineralsalzmedium mit Glukose als Kohlenstoff- und Energiequelle große Mengen L-Glutaminsäure ins Nährmedium ausscheidet (KINOSHITA et al. 1957). Dieses Bakterium, *Corynebacterium glutamicum*, produziert innerhalb von 2-3 Tagen über 100 g/l L-Glutaminsäure. Mikrobielle Verfahren konnten in den letzten Jahrzehnten auch für die Produktion anderer interessanter L-Aminosäuren wie L-Lysin oder L-Threonin entwickelt werden, in dem man z.B. geeignete Mutanten von *C. glutamicum* isolierte (LEUCHTENBERGER 1996). Die modernen Techniken des 'Metabolic Engineering' bieten heute verbesserte Möglichkeiten, leistungsfähige Bakterienstämme für die Herstellung von L-Aminosäuren zu entwickeln (SAHM 1993). Wir untersuchten in den letzten Jahren die Synthese von L-Lysin in *C. glutamicum* mit dem Ziel, von diesem Bakterium Stämme zu entwickeln, die zur Herstellung dieser für Mensch und Tier essentiellen Aminosäure besonders leistungsfähig sind.

## 2. Der Biosyntheseweg von L-Lysin in *C. glutamicum*

Wie aus Abb. 1 zu ersehen ist, gehört L-Lysin neben L-Methionin, L-Threonin und L-Isoleucin zu den Aminosäuren der Aspartat-Familie, deren Synthese von der gemeinsamen Vorstufe L-Asparaginsäure ausgeht. L-Asparaginsäure wird durch Transaminierung aus Oxalacetat gebildet, das über den Zitronensäurezyklus sowie die anaplerotischen Reaktionen im Zentralstoffwechsel bereitgestellt wird (siehe Kapitel 3).

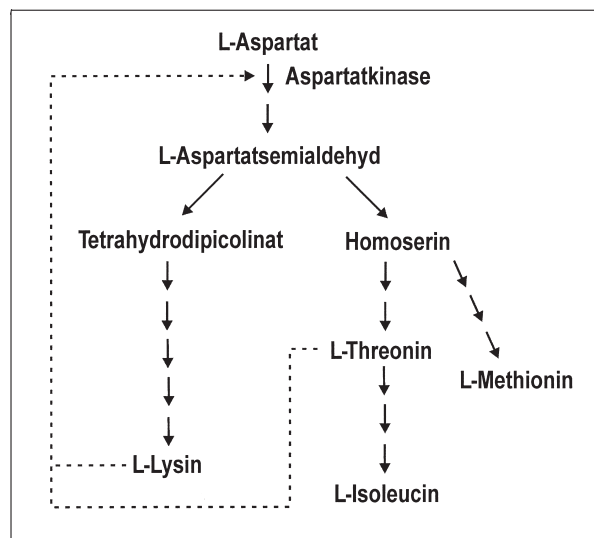


Abb. 1: Biosynthesewege von Aminosäuren der Aspartatfamilie und Regulation des Schlüsselenzyms: Aspartatkinase durch Endprodukthemmung (-----).

Die Synthese von L-Lysin wird über das erste Enzym im Biosyntheseweg, die Aspartatkinase, kontrolliert. Dieses Enzym wird in seiner Aktivität gehemmt, wenn mehr L-Lysin und L-Threonin in der Bakterienzelle vorhanden sind als für das Wachstum und die Vermehrung benötigt wird. Auf diese Weise ist das Bakterium *C. glutamicum* in der Lage, die Synthese dieser Aminosäuren bedarfsgerecht zu regulieren (CREMER et al. 1988). Wie eine Reihe von Untersuchungen ergeben haben, können relativ leicht Mutanten von *C. glutamicum* isoliert werden, bei denen diese Endprodukthemmung der Aspartatkinase nicht mehr vorhanden ist. Da die übrigen Enzyme des Lysinbiosynthesewegs in diesem Bakterium keiner weiteren Regulation unterliegen, können diese in der Aspartatkinase deregulierten Mutanten über 100 g/l L-Lysin unter entsprechend günstigen Kulturbedingungen ins Nährmedium ausscheiden (EGGELING 1994).

Um nun mit Hilfe gentechnischer Methoden gezielt die Lysinproduktion der bislang weitestgehend empirisch gewonnenen Mutantenstämme weiter steigern zu können, haben

wir in den letzten Jahren umfangreiche Untersuchungen zu den Stoffflüssen im Stoffwechsel von *C. glutamicum* ausgeführt. Dabei konnten wir nachweisen, daß in dem Aminosäure-produzierenden Bakterium *C. glutamicum* überraschenderweise zwei Wege für die Synthese von L-Lysin vorhanden sind (SCHRUMPF et al. 1991).

Wie aus Abb. 2 zu ersehen ist, wird die Lysinvorstufe meso-Diaminopimelat auf zwei verschiedenen Synthesewegen aus dem Stoffwechselzwischenprodukt Tetrahydrodipicolinat gebildet. Bei dem ersten Weg wird das Intermediat in einem Schritt durch die meso-Diaminopimelatdehydrogenase umgesetzt, während beim zweiten Weg vier Enzyme beteiligt sind und die Zwischenprodukte noch einen Succinatrest tragen. Mit Hilfe einer meso-Diaminopimelatdehydrogenase-negativen Mutante konnte gezeigt werden, daß die Kapazität des zweiten Weges ausreichend ist, um das für das Wachstum der Bakterienzellen notwendige L-Lysin zu synthetisieren. Die Ausscheidung von L-Lysin war jedoch in dieser Mutante um 20 % reduziert, was darauf hinweist, daß für eine hohe Lysinproduktion beide Lysinbiosynthesewege in *C. glutamicum* erforderlich sind.

Um den Kohlenstofffluß über diese beiden Wege zu quantifizieren, wurde das Bakterium auf  $^{13}\text{C}$ -markierter Glukose kultiviert und anschließend das Markierungsmuster im

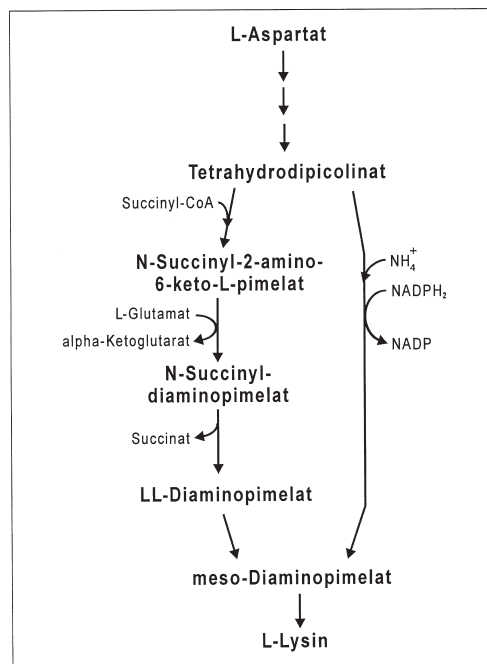


Abb. 2: Verzweigter Weg für die Biosynthese der Aminosäure L-Lysin in *Corynebacterium glutamicum*.



Kohlenstoffgerüst der Aminosäure L-Lysin mit Hilfe der NMR-Spektroskopie analysiert. Dabei zeigte es sich, daß in der Tat beide Lysinbiosynthesewege aktiv sind und über die meso-Diaminopimelatdehydrogenase etwa 30 % des produzierten L-Lysins synthetisiert wurden (SONNTAG et al. 1993). Eine detaillierte Analyse ergab aber, daß diese Stofffluß-verhältnisse über die beiden Biosynthesewege während einer Fermentation nicht konstant sind. Während zu Beginn der Fermentation über 70 % des gebildeten L-Lysins über den Dehydrogeaseweg gebildet wurden, war am Ende der Produktionsphase dieser Weg nur noch zu einem geringen Anteil an der Lysinbiosynthese beteiligt. Wie weitere Experimente ergaben, spielt die Ammoniumkonzentration im Nährmedium eine entscheidende Rolle bei der Aktivität dieser beiden Stoffwechselwege. Bei hoher Ammoniumkonzentration im Medium ( $>100$  mM) erfolgt die L-Lysinbiosynthese vorwiegend über die meso-Diaminopimelatdehydrogenase, da dieses Enzym einen relativ hohen  $k_m$ -Wert für Ammoniumionen besitzt ( $k_m = 36$  mM). Ist dagegen die Ammoniumkonzentration niedrig ( $< 50$  mM), was häufig am Ende einer Fermentation der Fall ist, so wird das Lysin weitestgehend durch den 'Succinylaseweg' gebildet.

### 3. Anaplerotische Reaktionen in *C. glutamicum*

Von zentraler Bedeutung für eine effiziente Lysinbildung ist die Synthese des Intermediats Oxalacetat im Zentralstoffwechsel, da dies die Vorstufe für die Bildung von Aspartat darstellt. Bislang ging man davon aus, daß in *C. glutamicum* beim Wachstum auf Glukose oder Saccharose Oxalacetat für die Biosynthese von Aminosäuren aus Phosphoenolpyruvat und  $\text{CO}_2$  gebildet wird, eine anaplerotische Reaktion, die durch das Enzym Phosphoenolpyruvat(PEP)-Carboxylase katalysiert wird (OZAKI und SHIO 1969) (Abb. 3). Kürzlich konnten wir jedoch zeigen, daß die PEP-Carboxylase nicht das einzige anaplerotische Enzym ist, das in *C. glutamicum* für die Bildung von Oxalacetat verantwortlich ist (PETERS-WENDISCH et al. 1993). Mutanten, bei denen das Gen für die PEP-Carboxylase mit Hilfe gentechnischer Methoden gezielt inaktiviert worden war, zeigten keinerlei Veränderungen in ihrem Wachstumsverhalten und in der Lysinbildung. Markierungsexperimente ergaben, daß in diesen Mutanten wie auch im Wildtyp eine weitere Carboxylierungsreaktion vorhanden ist. Nachdem im Rohextrakt von *C. glutamicum* zunächst keine Pyruvatcarboxylase-Aktivität nachgewiesen werden konnte, gelang es mit einem spezifischen Testsystem, in permeabilisierten Zellen dieses Enzym zu detektieren (PETERS-WENDISCH et al. 1997). Das Aminosäure-produzierende Bakterium besitzt somit neben der PEP-Carboxylase noch ein zweites anaplerotisches Enzym, die Pyruvatcarboxylase (Abb. 3). Dieses Biotin enthaltende Enzym katalysiert die Umsetzung von Pyruvat und Kohlendioxid zu Oxalacetat.

Wie quantitative Analysen dieser anaplerotischen Reaktion mit Hilfe der  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektroskopie ergeben haben, spielt die Pyruvatcarboxylase bei der Synthese von Oxalacetat eine sehr viel größere Rolle als die bislang für diese Reaktion verantwortlich gemachte PEP-Carboxylase. So werden bei der L-Lysinproduktion in *C. glutamicum* etwa 85 % des Oxalacetats von der Pyruvatcarboxylase und nur 15 % von der PEP-Carboxylase gebildet (PETERSEN et al. 1999).

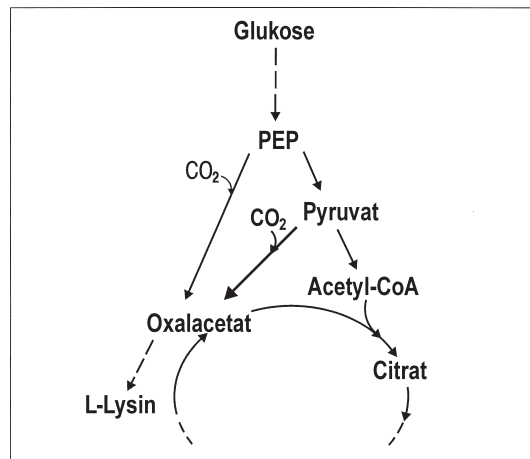


Abb. 3: Anaplerotische Reaktionen für die Synthese von Oxalacetat in *Corynebacterium glutamicum* (PEP: Phosphoenolpyruvat).

Wie aus Tabelle 1 zu ersehen ist, konnte durch Überexpression des Gens für die Pyruvatcarboxylase interessanterweise die Lysinbildung und auch die Glutamatbildung ganz erheblich gesteigert werden. Die Synthese von Oxalacetat scheint somit für die Produktion dieser beiden Aminosäuren ein 'Flaschenhals' zu sein, der durch Erhöhung der Pyruvatcarboxylase-Aktivität gezielt beseitigt werden kann.

Wie eine Reihe weiterer Enzymtests ergab, besitzt *C. glutamicum* aber nicht nur Enzyme für die Umsetzung von PEP bzw. Pyruvat und Kohlendioxid zu Oxalacetat sondern auch Enzyme, welche die umgekehrten Reaktionen katalysieren (PETERS-WENDISCH et al. 1997) (Abb. 4). So konnte in diesem Bakterium einerseits eine IDP/GDP-abhängige PEP-Carboxykinase nachgewiesen werden, die *in vivo* vermutlich bei der Glukoneogenese für die Decarboxylierung von Oxalacetat zu PEP verantwortlich ist. Andererseits besitzt *C. glutamicum* auch noch eine Oxalacetat-Decarboxylase, welche Oxalacetat zu Pyruvat und

Tab. 1: Erhöhte Lysin- und Glutamatbildung bei *C. glutamicum*-Stämmen, die das Gen für die Pyruvatcarboxylase überexprimieren.

Stamm	Pyruvatcarboxylase [mU/mg Protein]	Lysin [mM]	Glutamat [mM]
DG52-5(pVWEx)	10 ± 4	23 ± 3	
DG52-5(pVWExpyc)	176 ± 26	35 ± 3	
WT(pVWEx)			12 ± 2
WT(pVWExpyc)			78 ± 8

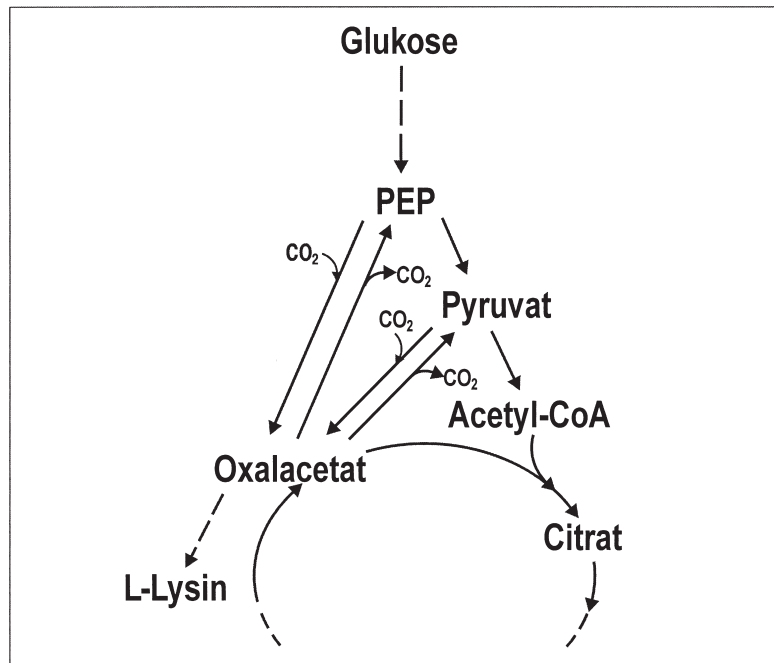


Abb. 4: Verschiedene Carboxylierungs- und Decarboxylierungsreaktionen bei der Umsetzung von Phosphoenolpyruvat (PEP) und Pyruvat bzw. Oxalacetat in *Corynebacterium glutamicum*.

$\text{CO}_2$  umgesetzt. Erstaunlicherweise haben erste Untersuchungen zur Quantifizierung dieser Decarboxylierungsreaktionen ergeben, daß etwa 60 % des gebildeten Oxalacetats über diese Rückreaktionen wieder zu PEP und Pyruvat umgewandelt werden. Welche Bedeutung dieser 'futile cycle' für das Wachstum und die Bildung von Aminosäuren hat, wird zur Zeit untersucht.

#### 4. Export von L-Lysin bei *C. glutamicum*

Da das von *C. glutamicum* produzierte L-Lysin in hohen Konzentrationen (über 100 g/l) im Kulturmedium angehäuft wird, stellt sich die Frage, wie das L-Lysin aus der Bakterienzelle exportiert wird. Bis vor kurzem gab es nur sehr wenige Untersuchungen zum Export von Aminosäuren bei Bakterien. Lange Zeit wurde in der Literatur diskutiert, daß die Aminosäuren durch passive Diffusion vom Zellinnern ins Kulturmedium gelangen. So wurde für den Export der hydrophilen Aminosäure L-Lysin bei *C. glutamicum* die passive Diffusion mittels eines osmotisch kontrollierten Porenmodells diskutiert (LUNTZ et al. 1986) (Abb. 5). Eine andere Hypothese zum Export von Aminosäuren ist die ,Inversions-

hypothese', die auf der prinzipiellen Reversibilität von Transportprozessen analog zu enzymkatalysierten Reaktionen beruht. Sie geht von einem – bei Umkehrung der Gradienten – in Exportrichtung arbeitenden sekundären Aufnahmesystem aus (CLEMENT et al. 1984). Diese Vorstellung konnte jedoch dadurch widerlegt werden, daß eine Mutante mit einem defekten Lysinaufnahmesystem noch in der Lage war, L-Lysin zu exportieren (SEEP-FELDHAUS et al. 1991). Mit biochemischen Methoden konnte vor einigen Jahren gezeigt werden, daß *C. glutamicum* neben entsprechenden Aminosäure-Aufnahmecarriern auch spezifische Aminosäure-Exportcarrier für L-Glutaminsäure, L-Isoleucin und L-Lysin besitzt (KRÄMER 1994). Die Charakterisierung des Lysinexports in diesem Bakterium ergab, daß es sich hierbei um einen sekundären Transportprozeß handelt, bei dem L-Lysin im Symport mit zwei Hydroxyl-Ionen über die Cytoplasmamembran transportiert wird. Die treibende Kraft für diesen Transport stellt das Membranpotential dar (BRÖER und KRÄMER 1991).

Kürzlich gelang es uns, das Gen für den Lysinexportcarrier von *C. glutamicum* zu isolieren (VRLJIC et al. 1996). Wie Sequenzanalysen ergaben, kodiert dieses Gen im Vergleich zu anderen Carrierproteinen nur für ein relativ kleines Polypeptid mit 236 Aminosäuren. Erste Computeranalysen zur Struktur ergaben, daß dieses stark hydrophobe Protein sechs potentielle transmembrane Bereiche hat. Detaillierte experimentelle Untersuchun-

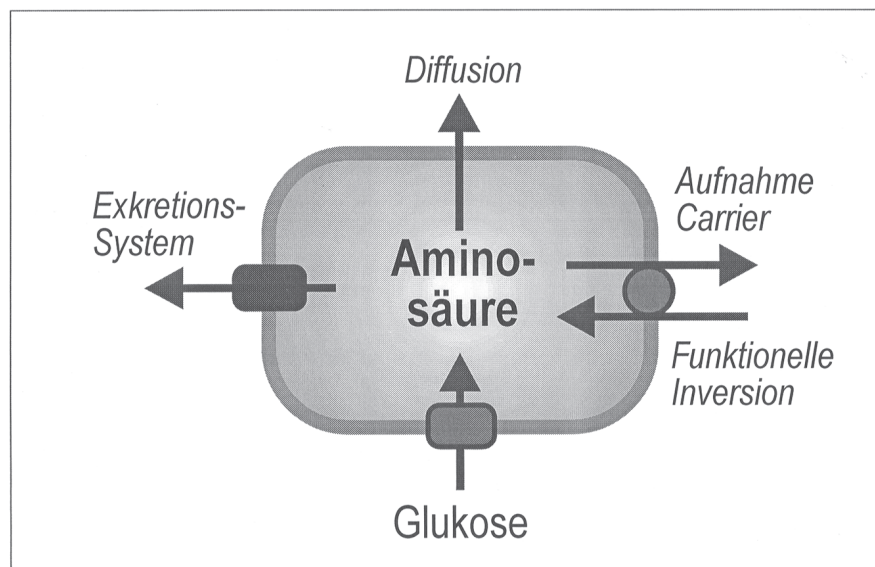


Abb. 5: Mögliche Exportsysteme für Aminosäuren bei *Corynebacterium glutamicum*.

gen zeigten jedoch, daß dieses Exportcarrierprotein nur fünf membrandurchgängige Bereiche besitzt; das sechste transmembrane Segment ist vermutlich der äußeren Cytoplasmamembran aufgelagert (Abb. 6). Ein Vergleich der ermittelten Gensequenz mit anderen bekannten Gensequenzen ergab, daß dieses Gen keine Ähnlichkeit zu Genen bekannter Funktion aus anderen Organismen zeigt. Es scheint sich hierbei um eine neue Familie von Proteinen zu handeln, die für den Export von niedermolekularen Substanzen verantwortlich sind (VRLJIC et al. 1999).

Mutanten, bei denen das Gen für den Lysinexportcarrier deletiert worden war, konnten kein L-Lysin mehr ins Kulturmedium ausscheiden (VRLJIC et al. 1996). Dieses Carrierprotein ist somit für den Lysinexport essentiell. Bei einer Diffusionskonstanten für L-Lysin von  $k = 1,9 \times 10^3 \text{ min}^{-1}$  ist die Diffusion dieser Aminosäure durch die Cytoplasmamembran vernachlässigbar. Durch Überexpression dieses Gens konnte die Lysinexportrate um den Faktor sechs im Vergleich zum Ausgangsstamm gesteigert werden. Dies ist von großem wirtschaftlichen Interesse, weil es Hinweise gibt, daß bei den zur Zeit für die Lysinproduktion verwendeten Bakterienstämmen der Export dieser Aminosäure ein limitierender Faktor ist. Nach Isolierung des Lysinexportcarrier-Gens besteht nun die Möglichkeit, diesen Engpaß gezielt zu überwinden und damit die Leistungsfähigkeit von Lysinproduzenten erheblich zu verbessern.

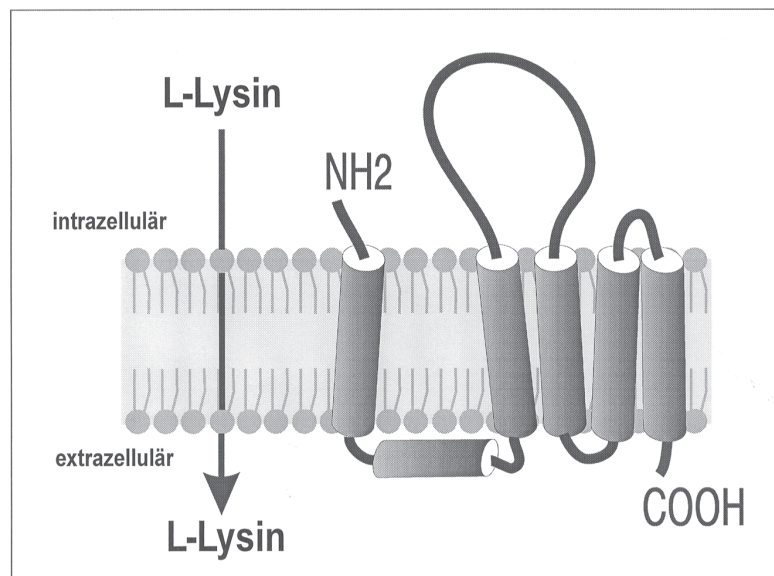


Abb. 6: Strukturmodell des L-Lysin-Exportcarriers in *Corynebacterium glutamicum*.

## 5. Ausblick

Während bislang die Bakterienstämme zur Herstellung von Aminosäuren weitestgehend empirisch durch Mutation und Selektion entwickelt wurden, ermöglichen heutzutage detaillierte Kenntnisse der Stoffwechselwege sowie deren Regulation eine gezielte Stammverbesserung (Metabolic Engineering) mit Hilfe gentechnischer Methoden. So können Engpässe in den Biosynthesewegen der Aminosäuren oder im Zentralstoffwechsel durch Überexpression der entsprechenden Gene beseitigt werden. Da auch der Transport von Aminosäuren aus der Bakterienzelle in das Kulturmedium bei der effizienten Produktion ein limitierender Faktor sein kann, müssen in Zukunft auch die Exportsysteme für die Aminosäuren in den Produktionsstämmen durch Anwendung der Gentechnik verbessert werden.

Nachdem in den letzten Jahren Methoden entwickelt wurden, die innerhalb weniger Monate eine vollständige Erfassung der genetischen Information eines Bakteriums (Genomsequenzierung) ermöglichen, wird zur Zeit auch das Genom des Aminosäureproduzierenden Bakteriums *C. glutamicum* sequenziert. Dadurch wird ein völlig neues Methodenarsenal erschlossen, mit dem weitere Engpässe im Stoffwechsel der Produktionsstämme identifiziert werden können. So wird die Expression der 3000 verschiedenen Gene in einer Bakterienzelle mit der DNA-Chip-Technologie meßbar sein. Mit Hilfe der DNA-Chips wird man insbesondere mehr Informationen zu den globalen Regulationsmechanismen erhalten, die bislang nicht bekannt und verstanden sind. Ferner bietet die Proteomforschung mit der 2D-Gelelektrophorese sowie der Massenspektroskopie (MALDI-TOF) eine sehr effiziente Möglichkeit, die vielen verschiedenen Proteine, die in den Bakterien unter verschiedenen Bedingungen gebildet werden, zu analysieren. Auf der Grundlage all dieser zusätzlichen Daten wird dann eine weitere gezielte Verbesserung der Bakterienstämme zur Herstellung von Aminosäuren erfolgen können.

## Literatur

- BRÖER, S., KRÄMER, R. (1991): Lysine excretion by *Corynebacterium glutamicum*. Energetics and mechanism of the transport system. Eur. J. Biochem. **202**, 137-143.
- CLEMENT, Y., ESCOFFIER, C., TROMBE, M.C., LANELLE, G. (1984): Is glutamate excreted by its uptake system in *Corynebacterium glutamicum*? A working hypothesis. J. Gen. Microbiol. **130**, 2589-2594.
- CREMER, J., TREPTOW, C., EGGELING, L., SAHM, H. (1988): Regulation of enzymes of lysine biosynthesis in *Corynebacterium glutamicum*. J. Gen. Microbiol. **134**, 3221-3229.
- EGGELING, L. (1994): Biology of L-lysine overproduction with *Corynebacterium glutamicum*. Amino Acids **6**, 261-272.
- ESAKI, N., NAKAMORI, S., KURIHARA, T., FURUYOSHI, S., SODA, K. (1996): Enzymology of Amino Acid Production. In: Biotechnology, VCH-Verlag Weinheim, Vol. **6**, 503-560.
- KINOSHITA, S., UKADA, S., SHIMONO, M. (1957): Studies on the amino acid fermentation. I. Production of L-glutamic acid by various microorganisms. J. Gen. Appl. Microbiol. **3**, 139-205.
- KIRCHER, M., LEUCHTENBERGER, W. (1998): Aminosäuren – ein Beitrag zur Welternährung. Biotechnologie in unserer Zeit, 28. Jahrg. Nr. **5**, Wiley-VCH-Verlag.

- KRÄMER, R. (1994): Secretion of amino acids by bacteria: Physiology and mechanism. *FEMS Microbiol. Rev.* **13**, 75-94.
- LEUCHTENBERGER, W. (1996): Amino Acid – Technical Production and Use. In: *Biotechnology*, VCH-Verlag Weinheim, Vol. **6**, 465-502.
- LUNTZ, M.G., ZHDANOVA, N.I., BOURD, I. (1986): Transport and excretion of L-lysine in *Corynebacterium glutamicum*. *J. Gen. Microbiol.* **132**, 2137-2146.
- NEIDHARDT, F., INGRAHAM, J., SCHAECHTER, M. (1990): *Physiology of the Bacterial Cell. A Molecular Approach*. Sinauer Associates, Inc. – Publishers Sunderland, Massachusetts.
- OZAKI, H., SHIO, I. (1969): Regulation of the TCA and glyoxylate cycle in *Brevibacterium flavum*. II. Regulation of phosphoenolpyruvate carboxylase and pyruvate kinase. *J. Biochem.* **66**, 297-311.
- PETERSEN, S., DE GRAAF, A.A., MÖLLNEY, M., KOWNATZKI, D., WIECHERT, W., SAHM, H. (1999): NMR-based analysis of *in vivo* anaplerotic activities in *Corynebacterium glutamicum*. Sonderausgabe zur Jahrestagung der VAAM 1999, Göttingen.
- PETERS-WENDISCH, P., EIKMANN, B.J., THIERBACH, G., BACHMANN, B., SAHM, H. (1993): Phosphoenolpyruvate carboxylase in *Corynebacterium glutamicum* is dispensable for growth and lysine production. *FEMS Microbiol. Lett.* **112**, 269-274.
- PETERS-WENDISCH, P., WENDISCH, V., PAUL, S., EIKMANN, B., SAHM, H. (1997): Pyruvate carboxylase as an anaplerotic enzyme in *Corynebacterium glutamicum*. *Microbiology* **143**, 1095-1103.
- SAHM, H. (1993): Metabolic Design. In: *Biotechnology*, VCH-Verlag Weinheim, Vol. **1**, 189-220.
- SCHRUMPF, B., SCHWARZER, A., KALINOWSKI, J., PÜHLER, A., EGGELING, L., SAHM, H. (1991): A functional split pathway for lysine synthesis in *Corynebacterium glutamicum*. *J. Bacteriol.* **173**, 4510-4516.
- SEEP-FELDHAUS, A.H., KALINOWSKI, J., PÜHLER, A. (1991): Molecular analysis of the *Corynebacterium glutamicum lysI* gene involved in lysine uptake. *Mol. Microbiol.* **5**, 2995-3005.
- SONNTAG, K., EGGELING, L., DE GRAAF, A.A., SAHM, H. (1993): Flux partitioning in the split pathway of lysine synthesis in *Corynebacterium glutamicum*: Quantification by <sup>13</sup>C- and <sup>1</sup>H-NMR spectroscopy. *Eur. J. Biochem.* **213**, 1325-1331.
- URLJIC, M., GARG, J., BELLMANN, A., WACHI, S., FREUDL, R., MALECKI, M.J., SAHM, H., KOZINA, V.J., EGGELING, L., SAIER JR., M.H.: The LysE superfamily: Topology of the lysine exporter LysE of *Corynebacterium glutamicum*, a paradigm for a novel superfamily of transmembrane solute translocators (im Druck).
- URLJIC, M., SAHM, H., EGGELING, L. (1996): A new type of transporter with a new type of cellular function: L-lysine export from *Corynebacterium glutamicum*. *Mol. Microbiol.* **22**, 815-826.

---

Prof. Dr. rer. nat. Hermann Sahm  
 Institut für Biotechnologie · Forschungszentrum Jülich  
 D-52425 Jülich, Germany  
<http://www.fz-juelich.de/ibt/ibt.html> · e-mail: [h.sahm@fz-juelich.de](mailto:h.sahm@fz-juelich.de)





HANSJÖRG HAUSER, Braunschweig

## Perspektiven der Biotechnologie in der modernen Medizin

Die effiziente Überführung von Grundlagenkenntnissen in technische Anwendungen und die industrielle Nutzung derselben ist eine ökonomische Notwendigkeit moderner Industriegesellschaften. In der Chemie wird dies seit über 150 Jahren mit Erfolg praktiziert. Im Gegensatz dazu hat die Biologie in diesem Zeitraum im wesentlichen Erkenntnisse gesammelt, aber eine Umsetzung in technologische Verfahren hat erst zum Ende des auslaufenden Jahrhunderts begonnen. Mit der Biotechnologie hat sich in den letzten 20 Jahren aus der Biologie ein neuer, zukunftssträchtiger Industriezweig entwickelt. Zur Zeit sind die wichtigsten Anwendungsfelder der Biotechnologie Umwelt, Agrar- und Lebensmittelindustrie sowie die Medizin (Medizinische Biotechnologie).

### Medizinische Biotechnologie

Die medizinische Biotechnologie entwickelte sich rasant. Neben dem gesellschaftlichen Nutzen in Form verbesserter Diagnostik und Therapie kam es gleichzeitig zu einer ökonomischen Nutzung. Zweifelsohne wird die biotechnologische Forschung auch in der Zukunft ganz wesentlich für medizinischen Fortschritt sorgen. Wohin die einzelnen Richtungen der medizinischen Biotechnologie gehen können, zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Anwendungen der medizinischen Biotechnologie

Herstellung von therapeutischen Proteinen
Neue Pharmazeutika aus der Genomforschung
Zelltherapie / Gentherapie
Bioartifizielle Organe
Organtransplantation von verschiedenen Spendern
Prophylaktische und therapeutische Impfstoffe

Die Sammlung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Auch ist die Bedeutung der einzelnen Disziplinen in der Zukunft nicht realistisch abzuschätzen. An einigen Beispielen aus der Biotechnologie der Säugerzellen sollen solche Anwendungen beleuchtet werden. Diese Disziplin hat in den vergangenen Jahren besonders stark die Medizin beeinflusst. Dies liegt daran, dass auch der menschliche Organismus aus solchen Zellen aufgebaut ist und sie deshalb zu menschentypischen Leistungen herangezogen werden können, bzw. selbst als Gegenstand therapeutischer Massnahmen benutzt werden können.

\* Vortrag an dem wissenschaftlichen Kolloquium anlässlich der Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille

### Voraussetzungen und erste Erfolge bei der Entwicklung der Säugerzellbiotechnologie

Eine wichtige Voraussetzung für die Verwendung von Säugerzellen wurde vor etwa 50 Jahren begonnen: Mit der Entwicklung der Zellkultivierung im Reagenzglas und im Bioreaktor wurden diese Zellen der Untersuchung und der technologischen Verwendung zugeführt. Tab. 2 zeigt die Schritte auf, die zur modernen Zellkulturkultivierung gehören. Zunächst wurden hauptsächlich immortale Zelllinien isoliert und kultiviert. Die erste wichtige biotechnische Anwendung erfolgte mit der Herstellung von Virusimpfstoffen. Noch heute spielt die Gewinnung von Virusimpfstoffen durch Vermehrung von Viren auf Zellkulturen eine nicht wegzudenkende Rolle für unsere Gesundheit. Als Beispiele seien die Vakzine gegen Pocken und Polio genannt. Der Pockenimpfstoff nimmt dabei eine einmalige Rolle in der Geschichte der Infektionsbiologie ein. Erstmals ist es durch systematische Impfung gelungen, einen Erreger vollständig aus der menschlichen Population zu entfernen. Auch die flächendeckende Impfung gegen das Poliovirus konnte die Infektionsgefahr für die Heranwachsenden weltweit eliminieren.

Ein entscheidender Schritt ist mit der Technik, zusätzliche Gene in Säugerzellen einzuführen, gelungen. Heute gibt es ein grosses Repertoire von Methoden für den Gentransfer in Säugerzellen (Abb. 1). Die Effizienz von physikalischen und chemischen Methoden ist in der Regel sehr niedrig und nur wenige Zellen erhalten das gewünschte Gen. Anders ist dies, wenn man virale Vektoren einsetzt. Diese Vektoren zeigen wie die Wildtypviren eine hohe Übertragungsrate und sind so konstruiert, dass die dazu notwendigen Virusmerkmale nach Infektion nicht mehr zum tragen kommen. Es handelt sich dabei um abgeschwächte Viren, von denen ein Teil des Virusgenoms entfernt worden ist und durch das gewünschte (z.B. therapeutische) Gen ausgetauscht worden ist. Trotz der hohen Effizienz der Gen-

Tabelle 2: Säugerzellkulturen

---

Herstellung von einzeln vorliegenden Zellen aus menschlichen oder tierischen Geweben
Die Kultivierung dieser Zellen
Die Vermehrung dieser Zellen
Die (Kryo)konservierung dieser Zellen

---

Die Nährstofflösung für Säugerzellkulturen besteht meist aus Medium und Serum:

Medium: Wachstumsflüssigkeit zusammengesetzt aus mehr als 30 bekannten Substanzen (Aminosäuren, Vitaminen, Salzen, Lipiden,...)

Serum: Zellfreie Blutflüssigkeiten aus verschiedenen Spendern. Wichtiger Zusatz in Zellkulturmedien. Serum enthält Proteine und andere Substanzen, die für die Zellvermehrung notwendig sind.

Für einige Zelltypen wurden serumfreie Medien entwickelt. Diese enthalten die notwendigen Wachstumsstimulatoren.

übertragung mit Hilfe viraler Vektoren haben diese noch immer einige Nachteile. So ist in einigen Fällen die Sicherheit noch nicht völlig gewährleistet. Häufiger aber ist der Zeitaufwand und die Technik der Herstellung solcher Viren die Hauptschwierigkeit beim Einsatz.

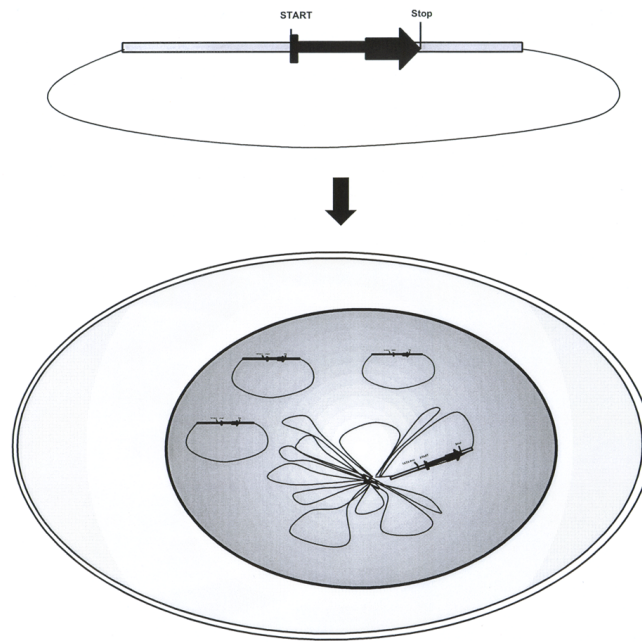


Abbildung 1: Gentransfer in Säugerzellen

Die Abbildung zeigt einen Vektor (oben) mit einem rekombinanten Gen (schwarzer Pfeil), das von regulatorischen Sequenzen (grauer Balken) umgeben ist. Die untere Bildhälfte symbolisiert eine Säugerzelle mit (dunklem) Zellkern. Darin befindet sich die chromosomale DNA (dünner Faden). Beispielhaft ist gezeigt, dass eine Kopie des Vektors in die chromosomale DNA integriert ist, während andere Vektormoleküle sich ausserhalb der chromosomalen DNA (episomal) aufhalten. Um spezifische Gene in Säugerzellen einzubringen, werden zunächst Vektoren gentechnisch hergestellt und in Colibakterien vermehrt. Neben dem Vektorgerüst, das für die Vermehrung in Bakterien notwendig ist (dünne Linie), besitzen die Vektoren meist ein Gen, welches durch umgebende Regulationssequenzen kontrolliert wird. Darüber hinaus enthalten die Vektoren weitere Elemente, die z.B. den Status dieses Gens in einer Säugerzelle beeinflussen. Für das Einbringen des Vektors in die Säugerzellen gibt es verschiedene Methoden, die abhängig sind von der Art der Zelle, der Art des Vektors und einer Reihe von weiteren Randbedingungen. Die Komponenten und der Aufbau des Vektors sowie die Natur der Empfängerzelle entscheiden nun, ob und wie lange der Vektor in der Zelle verbleibt. Meist werden die Vektoren nach kurzer Zeit wieder eliminiert. Besitzen die Vektoren bestimmte Replikationselemente, so kann es zu einer episomalen Vermehrung der Vektoren kommen. Die Weitergabe der Vektorinformation auf die Tochterzellen ist durch die Integration in die chromosomale DNA besser gewährleistet. Dies stellt sicher, dass alle nachkommenden Zellen das Vektorkonstrukt tragen.

### Proteinpharmaka aus Zellkulturen und transgenen Tieren

Die ersten spektakulären Erfolge der Gentechnik wurden bei der Herstellung von Proteinpharmaka aus rekombinanten Organismen erzielt. Eine Reihe von natürlich vorkommenden Proteinen sind sehr effiziente Wirkstoffe, die im Körper mehr oder weniger definierte Reaktionen hervorrufen. Als Beispiele seien das Wachstumshormon, das Insulin, die Interferone, die Interleukine sowie das Erythropoietin (Epo) genannt. Diese Substanzen haben heute ihren festen Platz in der klinischen Therapie. Gelegentlich werden sie sogar, wie das am Beispiel des Erythropoietin zu sehen ist, zum Doping mißbraucht. Zur Herstellung dieser Substanzen können oft Bakterien oder Hefen als billige Produzenten nicht herangezogen werden. Dies gilt vor allem dann, wenn spezifische Modifikationen dieser Proteine für die pharmazeutische Wirkung essentiell sind. Dann greift man auf Säugerzellkulturen zurück.

Eine Alternative zur Produktion in Zellkulturen sind transgene Tiere. Während die Herstellung von rekombinanten Zelllinien relativ einfach von statten geht, ist die Herstellung von transgenen Tieren wesentlich komplizierter und extrem zeitaufwendig (Abb. 2). Vom Zeitbedarf für eine Generation von der Implantation über die Ge-

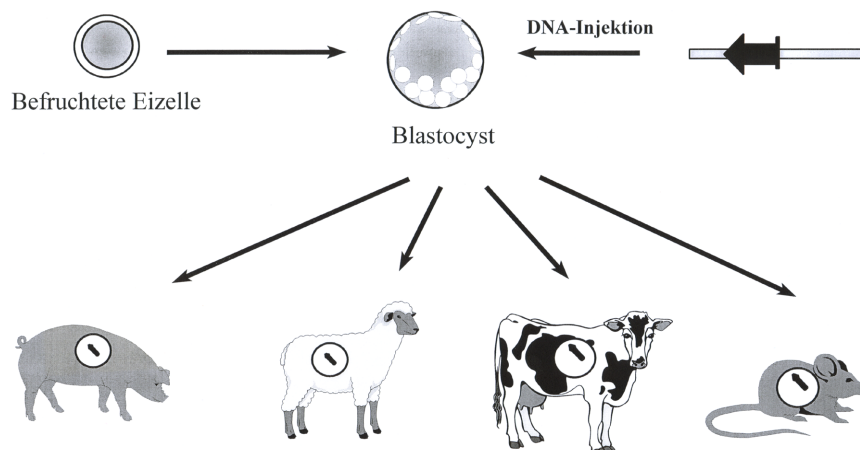


Abbildung 2: Herstellung von transgenen Tieren

In der Abbildung ist die Herstellung der ersten Generation von transgenen Tieren schematisch dargestellt. Der Vektor (rechts oben) wird durch Injektion oder anderen Techniken in einer frühen Embryonalphase (meist in den Blastozysten) transferiert. Es kommt dabei zur Übertragung in die chromosomale DNA einzelner Zellkerne des Embryos. Nach der Implantation des Embryos in eine Ammenmutter reift er zum chimären Organismus heran. Das Tier wird als chimär bezeichnet, weil die transgenen DNA in verschiedenen, aber nicht allen Zellen vorliegt. Wichtig ist, solche Tiere zu finden, welche das Transgen in den Zellen der Keimbahn tragen. Es erfolgt deshalb eine Kreuzung und Überprüfung auf der Übertragung der Erbinformation auf die zweite Generation. Erst wenn dies der Fall ist, kann von einer stabilen transgenen Linie gesprochen werden, die für biotechnologische Anwendungen infrage kommt. In weiteren Kreuzungsschritten werden Tiere hergestellt, welche das Transgen in beiden Schwesterchromatiden tragen (homozygot). Das ergibt eine stabile Züchtung.

burt bis zum geschlechtsreifen Tier kann der enorme Zeitaufwand für die Herstellung einer Herde transgener Nutztier abgeschätzt werden. Bei dem derzeitigen Stand der Technik werden durch Wahl geeigneter Regulationselemente transgene Proteine hauptsächlich in der Milchdrüse von Schafen, Ziegen oder Kühen hergestellt und mit der Milch ausgeschieden. Die Gewinnung kann relativ leicht über die Milch von geschlechtsreifen Tieren gewonnen werden. Auf diese Weise wird der Organismus des Produzententieres mit dem Protein nicht oder wenig belastet.

Entscheidend für die Wahl zwischen Zellkultur und transgenem Organismus ist die Natur des Proteins, der Bedarf sowie der zu erzielende Preis (Tabelle 3). So ist beispielsweise der Weltbedarf an rekombinantem Interferon wegen der hohen spezifischen Wirksamkeit problemlos durch Zellkulturen zu decken. Auf der anderen Seite werden für die Herstellung großer Mengen an Proteinen zunehmend transgene Tiere als Produzenten in Betracht gezogen. Als Beispiel für den Einsatz von transgenen Tieren für die Proteinproduktion sei die Herstellung von menschlichem Serumalbumin genannt, welches für viele medizinische Anwendungen wie z.B. die Stabilisierung von Injektionslösungen unerlässlich ist. Der Weltjahresbedarf liegt bei 440 Tonnen. Dieser wird zur Zeit noch durch Herstellung aus menschlichem Spenderblut gedeckt. Allerdings hat sich die Aufbereitung dieses Proteins durch Kontrollen und Reinigung von kontaminierenden Krankheitserregern (z.B. HIV oder dem Erreger des menschlichen BSE-Analogen, dem Erreger der Creutzfeld-Jakob-Krankheit) verteuert und man sucht nach billigeren und sichereren Herstellungsmethoden. Zur Zeit werden transgene Rinder hergestellt, die das Protein in grosser Menge produzieren können. Mit einer Herde solcher Tiere kann theoretisch der hohe Bedarf vollständig gedeckt werden.

Tabelle 3: Vergleich der Herstellungsmethoden rekombinanter Proteine

Produkt Qualität	Ausbeute	Etablierung der Produzenten	Produzenten
Nicht modifiziert, Renaturierung benötigt	Hoch	Einfach, schnell, kostengünstig	→ Prokaryonten, einfache Eukaryonten
Modifiziert	Niedrig > mg/ml	Zeitraubend (Monate), teuer	→ Eukaryontenzellen
Modifiziert	Hoch > mg/ml	Zeitraubend (Jahre), sehr teuer	→ Milchdrüsen von transgenen Nutztieren

### Das Klonen von Nutztieren

Die technologische Entwicklung der letzten Jahre hat das Klonen von Nutztieren möglich gemacht. Heute ist das Klonen bei den wichtigsten Nutztierarten wie Schaf, Ziege, Schwein und Rind, gezeigt worden. Abb. 3 zeigt schematisch die Vorgehensweise. Zunächst ist diese Methode geeignet, schnellere Züchtungserfolge zu erhalten. Die Kombination der transgenen Tierherstellung mit dem Klonen erlaubt es aber auch, in sehr viel kürzeren Schritten zu einer Herde von identischen transgenen Nachkommen zu kommen. Der Schlüssel liegt beim Einbringen des Vektors in die somatischen Zellen des Spender-tiers, die zur Übertragung in die entkernte Eizelle herangezogen werden. Dies führt zu einer Nachkommenschaft mit sicherer Keimbahnresidenz des übertragenen Gens. Damit erhöht diese Methode auch die Schnelligkeit bis zur Erreichung der pharmazeutischen Produktion.

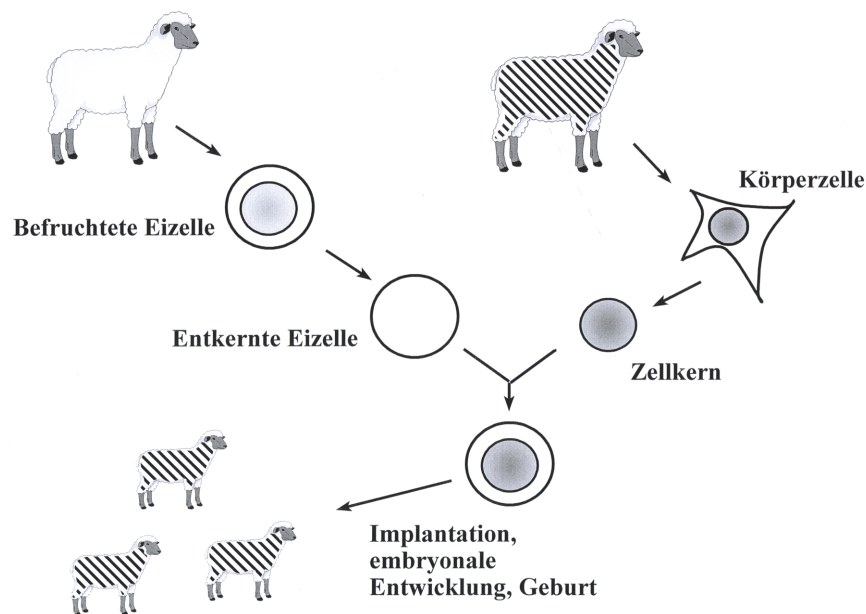


Abbildung 3: Das Klonen von Nutztieren

Beim Klonen werden von einem neugeborenen oder erwachsenen Tier somatische Zellen (Das sind alle Zellen, die nicht zur geschlechtlichen Reproduktion dienen können) entnommen. Durch Zellfusion mit zunächst befruchteten und dann entkernten Eizellen eines weiblichen Spendertiers entstehen Zellen, welche die Erbinformation des Spendertiers enthalten. Diese Zellen läßt man im Reagenzglas bis zur Blastozyste heranreifen und implantiert sie dann in eine Ammenmutter. Die Nachkommen tragen ausschließlich die Erbinformation des Tieres, aus dem die Spenderzellen stammen (gestreift) und sollten somit mit diesem identisch sein. Mit kleinen Einschränkungen ist dies tatsächlich so.

### **Die Xenotransplantation, ein Weg zur Abhilfe des Spenderorganmangels?**

Die genetischen Veränderungen und das Klonen transgener Nutztiere machen nun auch eine neue Therapievariante möglich, die Xenotransplantation. Während bei der herkömmlichen Transplantation Organe von Mensch zu Mensch übertragen werden, geht man bei der Xenotransplantation von einer Übertragung von tierischen Zellen oder Organen auf den Menschen aus. Für die medizinische Praxis kommt hauptsächlich das Schwein als Zell- und Organspender für den Menschen infrage. Die Gründe dafür liegen in den ähnlichen physiologischen Charakteristika und Organgrößen der beiden Organismen. Wichtig ist, dass ethische Gründe (wie zum Beispiel bei der Verwendung von Affenorganen) keine Rolle spielen. Die Reproduktion von Schweinen ist vergleichsweise schnell und der Bedarf an Spenderorganen könnte daher ohne Schwierigkeiten gedeckt werden. Eine wesentliche und zur Zeit noch nicht gelöste Hürde stellt das Abwehrsystem des Menschen dar. Der Mensch verfügt über eine Reihe von Mechanismen, die für die Abstoßung von Xenotransplantaten vorhanden sind. Man versucht durch gentechnische Veränderung der Spendertiere ihre Organe gegen die menschliche Abwehr resistent zu machen. Obwohl die ersten Hürden dabei genommen sind, dürfte ein endgültiger Erfolg noch einige Jahre auf sich warten lassen. Ein weiteres Problem bei der Xenotransplantation ist das Risiko, Viren des Spenders auf den Menschen zu übertragen. Dies ist nicht nur für den individuellen Spender ein Problem, sondern es gilt auch auszuschließen, dass bei dieser Übertragung zunächst harmlose Tierviren an den menschlichen Organismus angepaßt werden. Dies könnte zu einer Ausbreitung führen, wie man dies von HIV kennt. Trotzdem stellt die Xenotransplantation ein wichtiges Potential zur Überwindung des derzeit herrschenden und in der Zukunft immer stärker zunehmenden Mangels an Spenderorganen dar.

### **Stammzellen für die Regeneration von Geweben und Organen**

Bei der Übertragung von Spenderzellen und Organen von Mensch und Tier ist man immer mit Problemen der Immunabwehr konfrontiert. Man kann davon ausgehen, dass die Empfänger lebenslang immunsuppressive Medikamente nehmen müssen. Mit der Anwendung von Zelltherapien zeichnet sich eine neue Perspektive ab. In Tabelle 4 ist die

Tabelle 4: Hauttransplantation bei schweren Verbrennungen

- 
- Entnahme von Hautstücken aus unverletzten Bereichen des Verbrennungspatienten
  - Isolierung der Keratinozyten,
  - Vermehrung als Zellkultur (mehr als 1000fach)
  - Kultivierung als einzellige Schicht auf synthetischen Unterlagen
  - Transplantation dieser „Hautersatzstücke“ auf verbrannte Bereiche
-

Hautzelltransplantation, wie sie bereits bei schweren Verbrennungen praktiziert wird, zusammengefasst. Dazu werden Patientenzellen im Reagenzglas vermehrt und zu einem Hautersatz zusammengefügt. In den isolierten Hautzell-populationen sind Stammzellen enthalten, welche diese starke Vermehrung erlauben.

Was sind Stammzellen? Am eindruckvollsten ist dies am Beispiel der befruchteten Eizelle zu sehen: aus dieser entwickelt sich ein multizellulärer Organismus, dessen Zellen und Gewebe sich soweit differenziert haben, dass sie die spezifischen Funktionen jedes Organs im Körper wahrnehmen können. Während der Embryo sich entwickelt, bekommen die spezifischen Zellen eine Determination, Gewebe und Organe zu bilden. Selbst wenn der Organismus erwachsen ist, behalten viele Gewebe und Organe eine Homeostase aufrecht. Dabei wird das Sterben von Zellen, das durch natürlichen Zelltod oder Verletzung hervorgerufen wird, durch Nachwachsen von Zellen wieder kompensiert. Bekannte Beispiele sind die Regeneration von partiell zerstörtem Lebergewebe sowie die spontane Heilung von verletzter Haut. Die Epidermis, das Haar, die Darmwand sowie das blutbildende System des erwachsenen Organismus unterliegen einer natürlichen dynamischen Fluktuation. Selbst in Abwesenheit von Verletzungen bilden diese Organe ständig neue Zellen, die sich teilen, differenzieren und sterben. Diese erstaunliche Regenerationsfähigkeit ist direkt auf die Existenz von Stammzellen zurückzuführen, ein Geschenk der Natur an multizelluläre Organismen. Stammzellen haben sowohl die Eigenschaft sich selbst zu erneuern, d.h. sich zu teilen und neue Stammzellen zu bilden, als auch die Fähigkeit in bestimmte Organe oder Gewebe zu differenzieren. Während embryonale Stammzellen mit ihrer Fähigkeit in der Lage sind, alle Wege der Differenzierung für die Ausbildung eines Organismus zu beschreiten und somit als totipotent bezeichnet werden, haben die Stammzellen, welche in den Organen von Erwachsenen residieren, ein kleineres Entwicklungspotential. Oft sind sie nur in der Lage ein ganz begrenztes Programm von wenigen Schritten zu durchlaufen und können nur ganz wenige Zelltypen bilden. Allerdings haben bestimmte Stammzellen ein sehr viel größeres Potential als ursprünglich angenommen wurde, und können bei Bedarf die Differenzierung in verschiedene Richtungen einschlagen. So kann man hoffen, Stammzellen zur Regeneration von Geweben und Organen einzusetzen (Abb. 4). Voraussetzung ist, dass es möglich ist, Stammzellen zu kultivieren, sie zu vermehren und sie dann gezielt in bestimmte Differenzierungsrichtungen zu programmieren. Eine der Visionen ist es, zur Heilung von Diabetes die Übertragung von im Labor gezüchteten Inselzellen der Bauchspeicheldrüse zur Regeneration des ganzen Organs einzusetzen. Eine andere Möglichkeit bestünde in der Therapie von schweren Herzkrankheiten. Hierfür werden aus Stammzellen gewonnene Herzmuskelzellen in den Herzmuskel des Patienten transplantiert. In Tieren sind solche Experimente schon geglückt. Man geht davon aus, dass dies eines Tages auch beim Menschen möglich sein wird. Neben den gegenwärtigen Schwierigkeiten Stammzellen zu isolieren und sie von begleitenden, anders differenzierten Zellen abzutrennen, geht es hauptsächlich darum Kultivierungsverfahren zu finden, welche die Stammzellen in definierte Differenzierungsrichtungen zu treiben. Dazu ist es notwendig, die richtigen biochemischen Signalmoleküle zur Verfügung zu stellen und ggfs. auch den



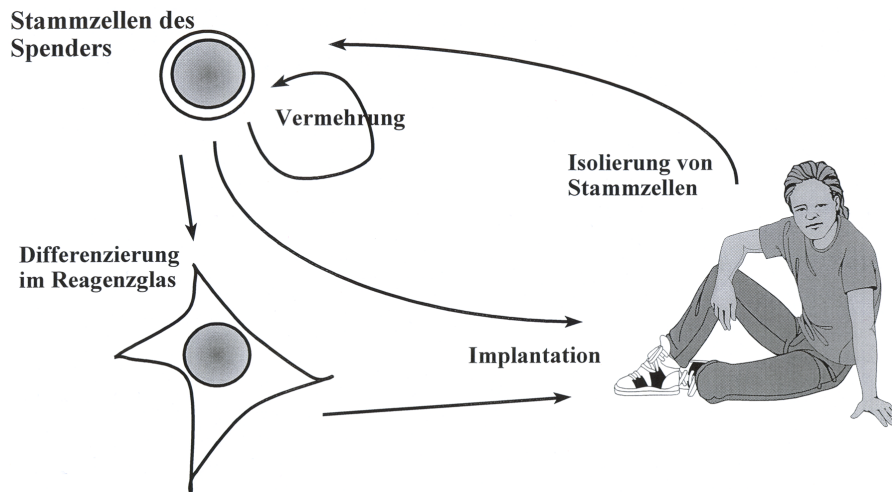


Abbildung 4: Schema einer zukünftigen Stammzelltherapie

Aus dem Gewebe des Patienten werden Stammzellen isoliert und vermehrt. Danach gibt es zwei Möglichkeiten. Durch Anlegen geeigneter Bedingungen (vgl. Text) wird die Differenzierung der Zellen im Reagenzglas oder Bioreaktor in die gewünschte Richtung erzwungen. Danach werden die Zellen in das erkrankte Organ gebracht, wo sie die ausgefallene Funktion übernehmen sollen. Alternativ dazu können die vermehrten Stammzellen direkt zur Differenzierung in das Patientengewebe implantiert werden. Dabei sorgen die umliegenden Zellen für die korrekte Differenzierung.

Kontakt mit anderen Zellen zu ermöglichen. Zur Zeit wird untersucht, inwieweit Stammzellen im Reagenzglas zu differenzieren sind, bzw. in welchem Zustand Stammzellen in das Empfängerorgan zur Regeneration des Gewebes vor Ort übertragen werden müssen.

Während im obigen Text von somatischen Stammzellen ausgegangen wurde, stellt sich eine Alternative mit der Verwendung von embryonalen Stammzellen. Diese sind totipotent und haben somit die Kapazität, alle differenzierten Zellen zu bilden. Gelänge dies auch in der Zellkultur, so könnten sie theoretisch als Ersatz für alle Gewebearten verwendet werden. Interessant wird diese Überlegung erst, wenn man die Methodik des Klonens hinzuzieht. Durch Einbringen von Kernen aus Körperzellen des Patienten in entkernte, befruchtete Eizellen (von Mensch oder Tier) würden individualspezifische, und damit der Immunabwehr des Patienten nicht ausgesetzte, totipotente Stammzellen entstehen. Diese Stammzellen könnten für den Gewebeersatz herangezogen werden. Diese Vorgehensweise wird als „Therapeutisches Klonen“ bezeichnet. Spätestens hier sind aber ethische und rechtliche Aspekte zu bedenken. So verstößt die hier geschilderte Vorgehensweise gegen das deutsche Embryonenschutzgesetz.

### **Die therapeutische Immunisierung, eine neue Methode der Tumorthherapie**

Im letzten Teil dieses Aufsatzes soll eine neue Richtung in der Therapie von Tumorerkrankungen vorgestellt werden. Die Grundlage der heute erfolgreich angewandten Tumorthherapie ist neben der Früherkennung die chirurgische Entfernung des Tumorgewebes, sowie die Strahlen- und Chemotherapie. Ziel der letzteren ist es, Tumorzellen spezifisch abzutöten und die normalen Zellen des Organismus so wenig wie möglich zu belasten. Dies ist, wie wir wissen, nur begrenzt möglich. Eine Variation der biologischen Krebsbekämpfung setzt auf die sogenannte therapeutische Tumorstimmung. Dabei wird das Immunsystem des Patienten in einer Weise aktiviert, dass die Tumorzellen erkannt und eliminiert werden. Grundlage dieser Überlegungen ist, dass Tumorzellen Proteine herstellen, die in den anderen Zellen des Organismus nicht oder nur marginal vorkommen. Diese Proteine werden Tumorantigene genannt. Heute kennt man bereits einige Tumorantigene. Das Immunsystem soll dann gegen die Antigen-tragenden Tumorzellen scharf gemacht werden. Es bedarf dazu der Beladung und Aktivierung von antigenpräsentierenden Zellen (APC) mit den Tumorantigenen. Deshalb ist es das Hauptziel der Therapie, das immunisierende Antigen in APCs zu bringen. Dendritische Zellen aus dem Blut oder Knochenmark sind professionelle APCs. Wenn diese das Tumorantigen zusammen mit kostimulatorischen Signalen präsentieren, werden spezifische T-Zellen des Patienten aktiviert. Diese übernehmen dann die Attackierung der Tumorzellen (Abb. 5).

Viele Entwicklungen in den letzten Jahren haben zur Realisierung verschiedener Varianten von Tumorstimmungen geführt. Zu diesen zählt die Isolierung und Reifung der antigenpräsentierenden Zellen, die Erkennung und Isolierung von tumorspezifischen Antigenen und deren kodierende Gene sowie die Übertragung der Antigene auf die antigenpräsentierenden Zellen. Die einzelnen Schritte für eine Therapievariante sind in Tabelle 5 aufgelistet. Während diese Methode im Tiermodell hervorragende Wirkung zeigt, ist es bis zur erfolgreichen Behandlung von menschlichen Tumoren noch ein weiter Weg. Eines der Hauptprobleme ist die Tatsache, dass Tumore oft Varianten entwickeln. Bestimmte Eigenschaften, z.B. die Herstellung einzelner Tumorantigene, gehen dabei verloren, dafür zeigen sie aber neue Eigenschaften. Für die vollständige Heilung geht es also darum, möglichst viele Tumorantigene zu isolieren und diese effizient in antigenpräsentierenden Zellen zu exprimieren. Trotz der noch nicht weit entwickelten Technologie haben erste Versuche am Menschen erstaunlich gute Ergebnisse gezeigt.

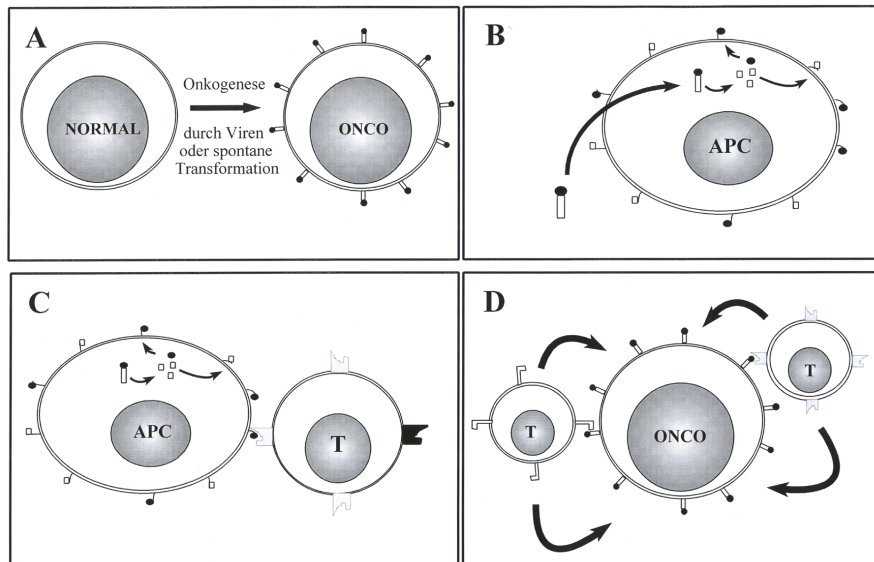


Abbildung 5: Die therapeutische Immunisierung

Bei der Entstehung von Tumorzellen (ONCO) aus normalen Zellen werden neue Moleküle, u.a. Tumorantigene, hergestellt. Beispielfhaft ist ein Tumorantigen auf der Zelloberfläche der Tumorzelle dargestellt (A). Im Labor werden die Antigene oder ihre Gene isoliert und auf antigenpräsentierende Zellen (APC) des Patienten übertragen (Beladung). Dort werden diese Antigene in Fragmente zerlegt. Die Fragmente (dargestellt als schwarze Kreise oder offene Kästchen) werden mithilfe anderer Moleküle (Mitglieder des MHC-Komplexes) auf der Zelloberfläche der APCs präsentiert (B). Durch diese Präsentation des zerlegten Tumorantigens werden spezifische T-Zellen (T) des Patienten aktiviert. Hier ist die Aktivierung einer T-Zellspezies, die für eines der beiden Tumorantigenfragmente (schwarzer Kreis) spezifisch ist, dargestellt (C). Die so aktivierten T-Zellen übernehmen dann das Aufspüren und die Attackierung der Tumorzellen (D).

Tabelle 5: Strategie für eine therapeutische Tumorstimmung

---

Isolierung der Gene von Tumorantigenen

Herstellung von rekombinanten Virusvektoren, welche die Tumorantigene exprimieren können.

Isolierung von antigenpräsentierenden Zellen (APC) aus den Patienten (dendritische Zellen)

Infektion der dendritischen Zellen mit den rekombinanten Virusvektoren

Implantation der modifizierten dendritischen Zellen in den Patienten

Immunreaktion des Patienten ausgelöst durch die dendritischen Zellen

Eliminierung der Tumorzellen.

---

**Literaturliste**

- H. HAUSER: Heterologous expression of genes in mammalian cells. In: Mammalian Cell Biotechnology in Protein Production. (H. Hauser and R. Wagner, eds.) De Gruyter, Berlin, 1-32 (1997).
- M. FUSSENEGGER, J. BAILEY, H. HAUSER, P.P. MUELLER: Genetic Optimization of Recombinant Protein Production by Mammalian Cells. TIBTECH, **17**, 35-42 (1999).
- E. FUCHS, J.A. SEGRE: Stem cells, a new lease of life. Cell **100**, 143-155 (2000).
- F.H. GAGE: Cell therapy. Nature **392**, 18-24 (1988).
- R. LANGER, J.P. VACANTI: Tissue Engineering. Science **260**, 920-926 (1993).
- J.L. PLATT: New direction for organ Transplantation. Nature **392**, 11-17 (1998).
- D.M. PARDOLL: Cancer vaccines. Nature Medicine **4**, 525-531 (1998).

---

Dr. rer. nat. Hansjörg Hauser  
Gesellschaft für Biotechnologische Forschung (GBF)  
Bereich für Molekulare Biotechnologie  
Mascheroder Weg 1 · D-38124 Braunschweig  
e-mail: HHA@GBF.DE

## **FESTVERSAMMLUNG IM ALTSTADTRATHAUS**

PROF. DR. PHIL. NORBERT KAMP  
Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

### **Ansprache und Bericht**

Herr Oberbürgermeister, meine Herren Präsidenten, sehr verehrte Damen und Herren,  
zur heutigen Festversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, in der die Carl Friedrich Gauß-Medaille 1999 an Herrn Prof. Christian Wandrey, Bonn-Jülich, verliehen wird, begrüße ich Sie alle sehr herzlich in der Dornse des Altstadtrathauses, die auch als Ort der Geschichte geeignet ist, einem wissenschaftlichen Werk, das in die Zukunft zielt und doch den Bürgern der Gegenwart für Abfall und Abwasser unmittelbar Hilfe verheißt, den würdigen Rahmen zu geben.

Mein erster Gruß gilt heute deshalb den Hausherren, Herrn Oberstadtdirektor Dr. Jürgen Bräcklein, die uns dieses Haus geöffnet haben und für den Abend das einst fürstliche, jetzt städtische Kleinod, Schloß Richmond, ebenso aufschließen, um den heutigen Preisträger festlich zu verabschieden. Mit Ihnen grüße ich die Mitglieder des Landtages und des Rates, die Vertreter der Bezirksregierung, der städtischen Verwaltung und der kulturellen Institutionen unserer Stadt. Es ist mir eine ganz besondere Freude, den Vorsitzenden des Aufsichtsrates der Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, Herrn Prof. Dr. Axel Kleemann, willkommen zu heißen, dessen hiesiges Institut zu den tragenden Säulen der biotechnologischen Forschung im Dreieck Hannover-Braunschweig-Clausthal gehört, aus dem auch der heutige Preisträger hervorgegangen ist.

Aus den Reihen der befreundeten Akademien und wissenschaftlichen Gesellschaften begrüße ich sehr herzlich den Präsidenten der Göttinger Akademie der Wissenschaften, Herrn Prof. Gerhard Gottschalk, den Vizepräsidenten der Mainzer Akademie, Herrn Prof. Wolfgang P. Schmid, den Präsidenten der Erfurter Akademie und Vizepräsidenten der Leopoldina, Herrn Prof. Werner Köhler, und den Präsidenten der Joachim Jungius-Gesellschaft in Hamburg, Herrn Prof. Otto Kraus, deren Anwesenheit am heutigen Tage ich als besondere Auszeichnung empfinde.

Mit Freude habe ich auch registriert, daß die Braunschweiger Zeitung durch ihren Chefredakteur, Herrn Wilfried Hub, Interesse und Aufmerksamkeit bekundet. Dafür danke ich sehr.

Mit großer Dankbarkeit grüße ich die Vortragenden des heutigen wissenschaftlichen Kolloquiums, deren Beiträge den Preisträger geehrt und, wie ich sicher zu sein glaube, auch herausgefordert haben. Die Herren Professoren Hermann Sahm, Jülich, und Gerhard Quinkert, Frankfurt, und die Herren Doktoren Volker Schellenberger, Palo Alto, und Hansjörg Hauser, Braunschweig, habe ich selbst leider nicht hören können, aber ich weiß von Dritten, daß Ihre Bereitschaft, in diesem Rahmen zu sprechen, dem Kolloquium eine herausragende Qualität verlieh und damit auch jene Autorität, die dem Preisträger angemessen ist.

Wir sind zu Beginn der Veranstaltung durch das Saxophon-Quartett der Städtischen Musikschule Braunschweig festlich eingestimmt worden. Das Quartett wird uns auch am Ende mit seinen Darbietungen die festliche Freude erneuern. Ich möchte deshalb schon jetzt Katharina Oertelt, Anne Schindel, Anne-Kristin Weber und Thomas Mengler herzlich Dank sagen und Ihnen zugleich gute Wünsche für die Zukunft mit auf den Weg geben.

Mein letzter Gruß gilt dem eigenen Kreis, allen Mitgliedern der Gesellschaft, ihren Angehörigen und Freunden, nicht zuletzt auch den Witwen unserer verstorbenen Mitglieder, die uns ihre Verbundenheit bewahrt haben.

Ein besonderes Wort gleichwohl noch zum Schluß. Während meiner langwierigen Erkrankung haben mich unser Vizepräsident, Prof. Erwin Stein, und unser Generalsekretär, Prof. Elmar Steck, mit selbstloser Hingabe vertreten, und die beiden Mitarbeiterinnen der Geschäftsstelle, Frau Hannelore Haubold und Frau Gabriele Petersen, mit ungewöhnlicher Aufmerksamkeit unterstützt, gerade, weil ich den Weg zum Haus der BWG nicht auf mich nehmen konnte. Ich danke Ihnen von Herzen für diese Hilfe.

Zusammengekommen sind wir, um den Preisträger des Jahres 1999 in unserer Mitte auszuzeichnen und dem so vielseitigen Biotechnologen und dem Technologie-Transfer zugewandten Erfinder und Entdecker in der Mikrowelt der Lebewesen und Enzyme Professor Christian Wandrey die ihm zuerkannte Medaille zu übergeben. Herr Kollege Wandrey, seien Sie mit Ihrer Frau Gemahlin herzlich in Braunschweig willkommen.

### **50 Jahre Carl Friedrich Gauß-Medaille**

Die Carl Friedrich Gauß-Medaille ist eine Stiftung des Jahres 1949. Sie fordert deshalb im Jahr der Jubiläen der Bundesrepublik zu einem kurzen Rückblick heraus, zumal sie - jedenfalls in meinen Augen - eine Art sichtbare Emanzipation von den ersten Jahren der Gesellschaft seit 1943 war, in der nach Außen das Führerprinzip dominierte, obwohl nicht wenige der ersten nominierten Mitglieder in den Klassen den wissenschaftlichen Charakter ihrer Arbeiten und auch ihre grundsätzliche Haltung zu den Aufgaben einer wissenschaftlichen Gesellschaft nicht zu verstecken brauchten. Mit der Stiftung der Medaille "zum Gedenken an den bedeutendsten Schüler des Collegium Carolinum" setzte sich die BWG das Ziel, "bedeutende wissenschaftliche Verdienste auf jeweils spezifischen Gebieten der Wissenschaft" auszuzeichnen. Die lapidare Verleihungsformel hat ihre Bewährungsprobe in 50 Jahren überzeugend bestanden und der Gesellschaft Wege in die Internationalität der Wissenschaft durch Begegnung, Disput und Kooperation geöffnet, die 1949 allenfalls zu erhoffen waren.

Da die Satzung vorsah, daß der Preis einmal jährlich zum Geburtstag von Gauß am 30. April verliehen werden sollte, die Stiftung aber erst am 12. November 1949 vom Senat der Gesellschaft unter Hinzuziehung des Präsidenten Hans-Herloff Inhoffen und des Generalsekretärs Eduard Justi beschlossen wurde, verständigte man sich im Januar 1950 darauf, die Gauß-Medaille gleichwohl beginnend mit dem Jahre 1949 zu verleihen und am 30. April 1950 je einen Preisträger für 1949 und 1950 auszuzeichnen, einen in der Industrie tätigen Chemiker und den Leiter eines chemischen Forschungsinstituts der Technischen Hochschule Göteborg. Mit Recht bezeichnete Eduard Justi in einer späteren Sitzung des Kuratoriums die Stiftung und Verleihung als eines der bedeutendsten Ereignisse im Leben

der damals knapp sieben Jahre bestehenden Gesellschaft. Sie ist für uns ein Element der Stabilität und Kontinuität, der dauerhaften Offenheit für die Entwicklungen in allen Disziplinen der Wissenschaft, des geschärften Blicks für Innovationen, aber auch für lange verborgenen Leistungen im Jahrhundertweg der Forschung, nicht zuletzt auch für Antworten auf früh gestellte, aber nie beantwortete Fragen.

Das Gedenken an Gauß ehrte die Gesellschaft anlässlich der 200. Wiederkehr seines Todestages 1955 durch eine Doppelverleihung, im 250. Jahr seiner Geburt 1977 sogar durch eine Dreifachauszeichnung, so daß die heute Herrn Prof. Wandrey zu übergebende Medaille als 53. nicht den Jubiläumskranz eines halben Saeculums trägt, aber wie jede ihrer Vorgängerinnen seinen Verdiensten gegenüber, die sich vor fünf Jahrzehnten in ihren Möglichkeiten noch gar nicht erkennen ließen, die erste und durch die Namensaufschrift für ihn auch als einzige bezeichnet ist.

Von den 53 Preisträgern waren 24 in der Mathematik und den Ingenieurwissenschaften, 10 in den Bauwissenschaften, die bis 1993 eine eigene Klasse bildeten, und 5 in den Geisteswissenschaften, die sich seit 1982 mit eigenen Vorschlägen beteiligen. Nicht wenige von diesen wurden früher oder später mit anderen weltweit angesehenen Preisen geehrt. Die von uns angesprochene Internationalität demonstrieren 23 Preisträger aus 8 verschiedenen Ländern.

Zur heutigen Charakterisierung des Preises und der ihn verleihenden Institution sei es mir erlaubt, noch einmal in die Geschichte zurückzugehen und auf den von unserem Mitglied Georg Müller aufgedeckten Wegen einer komplizierten und mit Plänen parteilicher Wissenschaft belasteten Vorgeschichte einige Entwicklungslinien nachzuzeichnen. Am Anfang stand 1941 das Unbehagen eines hannoverschen Landeshauptmannes darüber, daß Gerlach von Münchhausen und Albrecht von Haller 1751 die Akademie der Wissenschaften am residenzfernen Ort der Universität Göttingen angesiedelt hatten und seine Landeshauptstadt deshalb noch fast 200 Jahre später eines solchen geistigen Mittelpunkts entbehre, und ebenso das wissenschaftspolitische Vakuum, das durch die Pläne einer Reichs-akademie entstand, mit deren Hilfe man von Berlin aus die passive Resistenz der vorhandenen Akademien gegen die von der damaligen Einheitspartei angestrebte parteiliche Wissenschaft überwinden wollte, und zwar durch zusätzliche Akademien oder wissenschaftliche Gesellschaften an möglichst vielen Hochschulorten, die den Unterbau der Reichs-akademie bilden sollten und damit lenkbarer in deren Zuwahlen waren als die oftmals sperrigen Alt-Akademien. Da Gauleiter, Oberpräsidenten und Ministerpräsidenten von solchen Neugründungen Glanz und Stärkung erhofften, war es kein Wunder, daß der Braunschweiger Rektor bei seinem Landesherrn ein positives Echo für eigene Pläne fand und im Bunde mit der von den Expansionsplänen der Reichswerke Salzgitter als Standort bedrohten Bergakademie in Clausthal – die Reichswerke wollten diese als Stätte ihrer Ausbildung vereinnahmen – eine Braunschweiger Lösung anstrebte. Da in der wissenschaftlichen Gruppe innerhalb des Braunschweigischen Hochschulbundes bereits ein organisatorischer und auch finanziell in Grenzen leistungsfähiger Nukleus bestand, konnte die Gründung im Herbst 1943 vollzogen werden, zumal für Statuten und Geschäftsordnung erfahrene Kollegen bereit standen, die sich in der Umsetzung freilich dem damals herrschenden Führerprinzip zu beugen hatten, während die Vorstellung einer qualifizierten Wahl der ordentlichen Mitglieder keinen Raum in der Satzung fand.

So entstand eine Wissenschaftliche Gesellschaft im Lande Braunschweig mit Clausthaler Verstärkung, während die geplante Reichsakademie eine Chimäre blieb. Die BWG fand sich 1946 im neuen Lande Niedersachsen wieder, war aber zunächst wie auch andere Institutionen im ehemaligen Freistaat dessen Traditionen verhaftet und hegte deshalb noch geraume Zeit nicht immer unbegründete Vorbehalte gegenüber den vereinheitlichenden, zwangsläufig meist auf die neue Landeshauptstadt zielenden politischen, wirtschaftlichen, administrativen und kulturellen Konzentrationsbemühungen. Das zeigte sich noch 1952, als ein bedeutender Maschinenbauer gegen die Wahl eines nicht minder angesehenen Hannoveraner Mechanikers, der noch dazu zum Klassenvorsitzenden designiert werden sollte, sich mit Argumenten aus dem Arsenal einer sich stets vernachlässigt fühlenden Region zur Wehr, setzte. Die Braunschweiger Einkapselung, der er das Wort redete, fand jedoch schon im Zeithorizont immer weniger Befürworter, da sie der wachsenden Kooperationsbereitschaft unter den Wissenschaftlern nicht mehr entsprach.

Die BWG weitete vielmehr ihre Mitgliedschaft seit den 50er Jahren auf Niedersachsen aus und wurde als Körperschaft des öffentlichen Rechts seit 1953 eine Institution des neuen Landes. Der Wandel erreichte in den 60er Jahren eine Größenordnung, die es nicht mehr zuließ, die Gesellschaft trotz Namen und Sitz von ihrer Arbeit und ihrem Wirken her ausschließlich von Braunschweig her zu definieren. 1969 standen 51 Braunschweiger Mitgliedern 36 aus anderen Hochschulorten gegenüber oder besser wirkten mit ihnen gleichberechtigt in Plenum, Klassen und bei den Vorschlägen für die Zuwahlen und die Gauß-Preisträger zusammen, davon 25 aus Hannover und 5 aus Clausthal, 1980 waren es 32 Hannoveraner, 9 Clausthaler und 55 Braunschweiger, die zur aktiven Mitgliedschaft zählten, 1993 schließlich hatten 63 in Braunschweig ihre universitäre Heimat, 36 in Hannover, 12 in Clausthal, 7 in Göttingen und drei an weiteren Orten des Landes. Und in diesem Jahre 1999 sind alle Klassenvorsitzenden mit ihrem Hauptwirkungsbereich außerhalb von Braunschweig angesiedelt. Diese bemerkenswerte Integrationsleistung für die niedersächsischen Hochschulen mit einem technischen und naturwissenschaftlich-technischen Schwerpunkt, die stets auch die großen Forschungsinstitute außerhalb der Universitäten mit einbezog, muß man sehen, wenn die Preisverleihungen der letzten Jahrzehnte richtig verstanden werden wollen.

Die Gauß-Medaille wird von einer Gesellschaft verliehen, die drei Universitäten und ihren technischen und naturwissenschaftlichen Fakultäten ihre geistige Kraft und ihre Auswahlpotenz, aber auch ihre spezifischen Akzente verdankt, und sie muß deshalb immun sein gegen Vereinnahmungen, die andere, noch so hehre Ziele verfolgen, aber dieses einmalige, gelehrte Bündnis in Frage stellen. Die BWG muß um ihrer selbst und ihrer Maßstäbe willen ihre integrative Leistung der letzten Jahrzehnte weiterentwickeln. Nur damit kann sie ihren Rang unter den deutschen Akademien und gelehrten Gesellschaften behaupten und ihren unverwechselbaren Charakter als Ort eines Dialogs zwischen Grundlagenforschung und anwendungsorientierter Wissenschaft, Baukunst und Landschaftspflege, Technik und Geisteswissenschaft bewahren.

Nach diesen Überlegungen, die von der Erinnerung an die Stiftung der Gauß-Medaille vor 50 Jahren ausgelöst waren, komme ich nun zu meinem Bericht über die Arbeit der BWG im letzten Jahr, den ich aus verständlichen Gründen etwas kürzer halten möchte als gewöhnlich.



## Nachrufe

Es ist mir eine besonders ehrenvolle Pflicht, hier der Mitglieder zu gedenken, die unseren gemeinsamen Weg nicht mehr begleiten.

Am 16. Juli 1998 starb in Alter von 77 Jahren Victor **Gutmann**, ordentlicher Professor der Chemie an der Universität Wien, korrespondierendes Mitglied der BWG in der Klasse der Mathematik und Naturwissenschaften seit 1973, Gauß-Preisträger des Jahres 1973.

Am 25. März 1999 starb in Alter von 87 Jahren Hans Robert **Müller**, ordentlicher Professor der Mathematik an der Technischen Universität Braunschweig, ordentliches Mitglied der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften seit 1972.

Am 7. April 1999 starb in Alter von 83 Jahren Gerhard **Becker**, Professor der Physik an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, ordentliches Mitglied der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften seit 1972.

Wir trauern um die Gelehrten, die uns nach mehr als einem Vierteljahrhundert aktiver Teilhabe an unseren gemeinsamen Werken verlassen haben und bewahren ihnen und ihrem Werk ein ehrenvolles Andenken.

## Wahl eines Klassenvorsitzenden

In den Organen der BWG trat im Berichtsjahr nur ein Wechsel ein, da Prof. Dr.phil. Gregor Maurach (Münster) im Januar 1999 für drei Jahre zum Vorsitzenden der Klasse für Geisteswissenschaften gewählt wurde und damit Prof. Claus-Artur Scheier ablöste, der diese Aufgabe seit 1993 mit Hingabe und Souveränität wahrgenommen hatte.

## Wahl eines Präsidenten

Der bisherige Präsident wurde in der Wahlsitzung vom 18.12.1998 für drei weitere Jahre in seinem Amt bestätigt.

## Zuwahlen und personeller Stand der BWG

An neuen Mitgliedern wählte das Plenum in der Wahlsitzung vom 16.4.1999 auf Vorschlag der entsprechenden Klassen zu neuen ordentlichen Mitgliedern in der

### Klasse für Ingenieurwissenschaften

- Herrn Professor Dipl.-Ing. Helmut C. **Schulitz**, ordentlicher Professor für Architektur an der Technischen Universität Braunschweig

sowie in der

### Klasse für Geisteswissenschaften

- Frau Professor Dr.phil. Claudia **Märtl**, ordentliche Professorin für Mittelalterliche Geschichte an der Technischen Universität Braunschweig

- Herrn Professor Dr.phil. Helwig **Schmidt-Glintzer**, ordentlicher Professor für Sino-logie und Allgemeine Kulturwissenschaft an der Universität Göttingen und im Haupt-  
amt Direktor der Herzog August Bibliothek in Wolfenbüttel als Forschungsinstitut  
für europäische Kulturgeschichte
- Herrn Dr.rer.nat. Hartmut **Thieme**, der als Vertreter der Ur- und Frühgeschichte die  
archäologische Schwerpunktgrabung im Helmstedt-Schöninger Braunkohlenrevier  
im Auftrage des Niedersächsischen Landesamts für Denkmalpflege, Hannover, leitet.

Ich freue mich, daß Frau Prof. Märkl, Herr Prof. Schulitz und Herr Dr. Thieme heute schon als neue Mitglieder an dieser Versammlung teilnehmen können und wünsche Ihnen wie den anderen neuen Mitgliedern, daß Sie im Dialog und Kooperation für Ihre Arbeiten in der BWG Partner und Freunde finden.

Nach diesen Zuwahlen gehörten der BWG am 31. Mai 1999 127 ordentliche Mitglieder an, davon 68 unter 70 Jahren, sowie zusätzlich 69 korrespondierende Mitglieder.

## Veröffentlichungen

Bei den Veröffentlichungen ist das Jahrbuch 1998 im Druck, der Band 49 der Abhandlungen 1998 in Vorbereitung. Nachdem unser langjähriger Verlag Goltze in Göttingen um seine Ablösung gebeten hat, liegen Drucklegung und verlegerische Betreuung seit diesem Jahr in den Händen des Cramer Verlages, Braunschweig, für die ich heute Frau und Herrn Jäcker in dieser Versammlung als Partner einer neuen Kooperation begrüßen kann.

## Vorträge in den Plenarversammlungen

Die Arbeit der BGW vollzieht sich in den Sitzungen von Plenum und Klassen, die regelmäßig in Braunschweig, Hannover und Clausthal tagen. Die jeweils fachspezifischen Vorträge fordern in einer für mich immer wieder erstaunlichen und zugleich erfreulichen Weise nicht nur die fachnahen, sondern auch die fachfernen Kolleginnen und Kollegen zur Diskussion heraus und schlagen so jene Brücken zwischen den Disziplinen, die das gemeinsame Ethos der Wissenschaften bei aller Spezialisierung erkennen lassen und damit bewahren helfen.

Wenn die altpaläolithischen Fundplätze im Tagebau Schöningen die Urgeschichte des Menschen neu entdecken lassen, so ist auf der anderen Seite der Geowissenschaftler in der Lage, die heute so viel erörterte Klimaentwicklung an Hand seiner Befunde zu deuten und eine zu Übertreibungen neigende öffentliche Diskussion auszubalancieren. Auf natürliche Plasmalaboratorien in den planetaren Magnetosphären lenkte der Geophysiker unseren Blick, während gleichsam im Kontrast dazu die neuen Wege der Tiefbohrtechnik deren Aufwand und deren Leistungsmöglichkeiten aufzeigten. Die Entwicklungstendenzen der Nachrichtentechnik überraschten die meisten Anwesenden ebenso wie die Leistungsmerkmale des terrestrischen Digitalfernsehens. Wenn dann noch ein Mathematiker erläutert, "Wie mitunter die Physiker den Mathematikern das Zählen beibringen" und andererseits

wir den Weg des Württembergischen Herzogs Carl Eugen auf zwei Italienreisen an Hand seiner kaum benutzten Reisetagebücher verfolgen konnten, machen die von mir hier von in Auswahl wiedergegebenen Gegenstände der Veranstaltungen deren Breite und Vielgestalt, aber auch deren forschungsspezifischen Charakter hinreichend deutlich, wobei natürlich gilt, daß die langfristig angelegten Forschungen in der Regel von den Instituten unserer Mitglieder ausgehen und deren Arbeitsmöglichkeiten voraussetzen.

### **Aus der Arbeit der Kommissionen**

Was die Kommissionen anbelangt, so muß ich leider sagen, daß die Neugründung einer Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte weiterhin ein Desiderat bleibt, für das wesentliche personelle Voraussetzungen noch fehlen.

Dagegen hat die aus sechs Juristen und sechs Ingenieuren und Naturwissenschaftlern bestehende Kommission für Recht und Technik unter dem Vorsitz der Herren Scheer und Thieme entsprechend dem Auftrag des Plenums damit begonnen, den Begriff des Risikos aus juristischer und ingenieur-naturwissenschaftlicher Sicht zu analysieren und seinen Inhalt unter dieser doppelten Perspektive zu präzisieren. Nach einer intensiven Vorklärung wird am 28. Juni des Jahres in Hannover ein Colloquium stattfinden, in dem unser Mitglied Herr Peine (Göttingen) als Jurist und Herr Ekardt (Kassel) für die Technik und Naturwissenschaften in die Problematik einführen. Die Ergebnisse des Colloquiums sollen veröffentlicht werden.

Meinen Bericht breche ich hier ab, damit die Festversammlung nunmehr ihr Augenmerk auf das seit 1950 bedeutendste Ereignis des jeweiligen Jahres, die Verleihung der Carl Friedrich Gauß-Medaille, konzentrieren kann.

Ich übergebe deshalb das Wort an unser Mitglied Joachim Klein, der uns begründen wird, warum Christian Wandrey der Gauß-Preisträger des Jahres 1999 ist.



PROF. DR.RER.NAT. JOACHIM KLEIN, Braunschweig

**Laudatio**  
**zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille**  
**an Prof. Dr.rer.nat. Christian Wandrey**

Herr Präsident,  
hohe Festversammlung,  
sehr geehrte Frau Wandrey, lieber Herr Wandrey!

Die Biotechnologie ist in der deutschen Forschungslandschaft einerseits ein fast traditionell etabliertes, andererseits aber auch hoch aktualisiertes Thema. Wer die Szene genauer kennt, weiß, dass nach Beginn der 60er Jahre eine Reise in die Zukunft begann, die allerdings auch stark durch tradierte Technologien der Mikrobiologie, Biochemie und Fermentationstechnik bestimmt war. Genetik und Gentechnik waren noch Fremdwörter. Dennoch gäbe es z. B. keine GBF in Braunschweig, wenn nicht schon damals Grundsteine technologie-orientiert gelegt worden wären. In der heutigen, von der Politik hochgelobten, Version stehen eher die Anwendungsbereiche der Medizin- und Pflanzenprodukte im Vordergrund, die essentiell durch Begriffe wie Molekularbiologie, Gentechnik, Klonierung etc. geprägt sind. Kennzeichnend ist ferner die frühe, fast immer zu frühe, Verknüpfung von Erkenntnissen der Wissenschaft mit der Hoffnung auf marktreife Produkte der Medizin und eine boomende Industrie. Bioregio-Wettbewerbe, Gründerwettbewerbe etc. sind Instrumente dieser zeitgeistbetonten Strategie.

So sicher die Biotechnologie also zum Zeitgeist am Ende der 90er Jahre gehört, so sicher ist auch die Aussage, dass es nicht dieses Zeitgeistes bedurft hätte, um an einem Biotechnologie-Standort wie Braunschweig auch die Gaußmedaille mit dem Thema Biotechnologie zu verknüpfen. Und so freuen wir uns, lieber Herr Wandrey, dass wir Sie heute mit dieser Preisverleihung ehren und damit auch im übertragenen Sinne an unsere Stadt binden dürfen. Ihr Lebensweg, den ich nun in seinen persönlichen Konturen kurz skizzieren möchte, hat Sie ja schon einmal nach Braunschweig geführt:

1943 in Plauen (Vogtland) geboren, weist Ihr Lebenslauf im Rahmen der Schulausbildung (1949 – 62) auch den Ort Braunschweig als Station aus. Das Abitur erhielten Sie dann aber schon in Hannover, jener Stadt, die vor allem auch Ihren beruflichen Lebensweg so entscheidend geprägt hat. Nach dem Militärdienst, den Sie nach zwei Jahren als Zeitoffizier abschlossen, nahmen Sie 1964 in Hannover das Chemie-Studium auf und schlossen es 1970 mit dem Diplom ab, anschließend begann die Promotionsarbeit am Institut für Technische Chemie, das Karl Schügerl gerade übernommen hatte, und Sie arbeiteten mit A. Renken an Fragen der instationären Reaktionsführung. 1973 war dieses Kapitel abgeschlossen und Sie entschlossen sich, den mühsamen Pfad zur Habilitation zu beschreiten, und es ist wohl kein Zweifel, dass K. Schügerl an dieser Wahl und der Wahl des Themas beteiligt war: Das Thema hieß 1973 schon *Bioreaktionstechnik*. 1977 erfolgte Ihre Habilitation und ich erinnere mich gern an unsere ersten persönlichen und fachlichen Kontakte,

da ich als externer Gutachter an Ihrem Habilitationsverfahren beteiligt war. Kurz danach folgten Sie einem Ruf auf eine C3 Professur für Chemische Verfahrenstechnik an der TU Clausthal. In der schon damals starken Entwicklungsphase der Biotechnologie wurde dieses Thema „großforschungsreif“, z. B. gekennzeichnet durch die Übernahme der GBF in Braunschweig in die institutionelle Bundesförderung und durch den Aufbau einer diesbezüglichen Fachkompetenz am Kernforschungszentrum Jülich. So erfolgte 1979 die Berufung an das Institut Biotechnologie 2 (in enger Nachbarschaft zum Kollegen Sahm, der 76 aus Braunschweig nach Jülich berufen worden war), verbunden mit einer ordentlichen Professur für Biotechnologie an der Universität Bonn. Und, um das Formelle abzuschließen, beide Funktionen haben Sie bis heute inne. Auch dass Sie als Familienvater mit Ihrer lieben Frau stolz auf drei Kinder sind, darf hier nicht unerwähnt bleiben.

Mit der Berufung nach Jülich begann eine zwar funktionell stationäre, im Hinblick auf die Inhalte und Ergebnisse Ihrer Arbeit aber äußerst bewegliche und fruchtbare Zeit, in der Ihre Leistungen in der Forschung, in der Lehre und Ausbildung und im Technologietransfer zu überzeugenden Erfolgsfaktoren und zum Markenzeichen der Biotechnologie in Jülich wurden. Die Fakten dieser Bilanz sind

- in der Forschung      mehr als 300 Publikationen und drei herausragende Preise
- in der Lehre            mehr als 60 Promotionen und zwei Habilitationen mit nach folgenden Berufungen der Habilitierten auf C3- und C4-Positionen
- im Technologiebereich      mehr als 60 Patente und starke Impulse zur Gründung von vier Start-up-Firmen.

So beeindruckend diese Fakten allein auch sein mögen, so wichtig ist es mir, in dieser wissenschaftlichen Feierstunde Ihre wissenschaftliche Leistung vor allem inhaltlich schlaglichtartig zu beleuchten und in den Mittelpunkt der Preisverleihung zu rücken.

Als generelles Leitmotiv dieser fachlichen Würdigung möchte ich herausheben, dass Sie wie wenige in diesem Land und darüber hinaus Biotechnologie als ernst genommene Synthese von Biologie und Technik verstehen, und zwar im Sinne der integrierten Entwicklung vom Biokatalysator zum Bioprozess, mit dem Ziel einer fassbaren Stoffproduktion nach dem Motto „die Flasche mit dem Produkt muss auf den Tisch“. In einer Welt, in der Biotechnologie oft mit Methoden der Molekularbiologie und Gentechnik und den entsprechenden mikroskopischen Arbeiten auf Gen- und Protein-Ebene verbunden wird, ist dieses besonders zu betonen. Es geht mit anderen Worten um die Auswahl und Optimierung von biologischen Systemen, die als katalytische Systeme zur Stoffumwandlung befähigt sind, und dies gilt es in einer realen großtechnischen Dimension, d.h. in m<sup>3</sup> und t-Maßstab zu verifizieren.

Das wichtigste Leitmotiv dieser Arbeiten stand in Hannover am Anfang Ihrer Entwicklung, besitzt bis heute einen hohen Stellenwert und hat immer wieder innovative Ergebnisse hervorgebracht. Es handelt sich um den Einsatz von Enzymen und Enzym-Systemen zur Stoffumwandlung, und dies in der speziellen reaktionstechnischen Konfiguration des Enzym-Membranreaktors.

Das Prinzip dieser reaktionstechnischen Anordnung ist die Kombination eines homogen gelösten Enzymkatalysators mit einer Membran am Reaktorausgang, welche für die

Rückhaltung des Katalysators im Reaktionsraum Sorge trägt. Auf diese Weise werden die Vorteile einer homogenen Reaktion – d.h. die Vermeidung von Problemen des diffusiven Stofftransports – mit den Vorteilen üblicherweise in heterogener Phase im Reaktionsraum fixierter Katalysatoren kombiniert.

Dieses Prinzip des „Enzym-Membran-Reaktors“ ist mit Ihrem Namen, lieber Herr Wandrey, fest verbunden und hat seine Bewährungsprobe im Labor und in der Industrie mehrfach bestanden. Typische Reaktionen sind die Produktion optisch reiner Aminosäuren, wie L-Methionin oder L-tertiär-Leucin, die C-C-Verknüpfung zur Synthese ungewöhnlicher Kohlenhydrate, wie Neuraminsäure oder N-acetyllactosamin oder die Synthese chiraler Bausteine für die organische Synthesechemie.

Diese Arbeiten wären allerdings nicht möglich gewesen ohne eine in dieser Intensität und Stabilität seltene Kooperation mit Frau Professor M.-R. Kula, heute Leiterin des Instituts für Enzymtechnologie an der Universität Düsseldorf – und bis 1985 Leiterin der Abteilung Enzymtechnologie der GBF, welche wesentliche Leistungen zur Auswahl und Bereitstellung der Enzyme und ihrer Cofaktoren erbracht hat und bis heute erbringt. So ist es auch mehr als gerechtfertigt, wenn Sie, lieber Herr Wandrey, zwei wesentliche wissenschaftliche Auszeichnungen – 1983 den Technologietransfer-Preis des Bundesministeriums für Forschung und Technologie und 1993 den „Enzyme Engineering Award“ – gemeinsam mit Ihrer langjährigen Kooperationspartnerin entgegennehmen durften.

Die Bioprosesstechnik bietet natürlich auch für den Einsatz ganzer Zellen, d. h. Mikroorganismen als lebende Zellen, herausragende Entwicklungsperspektiven. Problemlösungen, die auf Ihren Arbeiten beruhen, beziehen sich auf die

- Optimierung der Reaktionsführung, d.h. der Strategie der Medienzufuhr und Zusammensetzung zur Produktionssteigerung und
- auf die Stabilisierung des mikrobiellen Reaktionspartners im Reaktor, z. B. durch Entwicklung von Festbettreaktoren bis hin zum industriellen Massstab.

Beispiele zum ersten Typ sind umfassende Arbeiten zur fermentativen Synthese von Aminosäuren wie z. B. L-Phenylalanin, und dies in enger Kooperation mit Ihrem Kollegen am Jülicher Institut, H. Sahm, oder zur Produktion von Enzymen wie Formiatdehydrogenase.

Im zweiten Typ haben Sie sich, vor allem gemeinsam mit Ihrem Schüler Aivasidis, erfolgreich in der Umweltbiotechnologie engagiert. Es handelt sich um die Entwicklung eines Festbett-Umlaufreaktors zur Abwasserreinigung in Prozessen der Tierkörperverwertung, der Raffinerie oder der Erdölförderung. Stofflich handelt es sich dabei um Prozesse der mikrobiellen aeroben oder anaeroben C-Eliminierung, der H<sub>2</sub>S-Eliminierung oder der Denitrifikation.

Der Philip Morris Forschungspreis des Jahres 1987 für das „Biogas-Hochleistungsverfahren zur Reinigung organisch höchstbelasteter Abwässer“ war der verdiente Lohn dieser Arbeiten.

In den letzten zehn Jahren haben Sie ihr Interessengebiet sowohl methodisch als auch stofflich signifikant erweitert:

Eine dieser Richtungen zielt auf die Bereitstellung von biologischen Materialien für die medizinische Therapie. Auf der Basis des Einsatzes trägergebundener Hybridoma-Zellen

auf speziellen porösen Glaträgern gelang Ihnen z. B. die effiziente Synthese monoklonaler Antikörper. Ein anderer Ansatz befasst sich mit der klonalen Vermehrung hämatopoetischer Stammzellen als Beitrag zur Stammzelltherapie.

In eine ganz neue Richtung zielen dann Ihre Arbeiten zur bioorganischen Chemie unter dem Aspekt der kombinatorischen Biokatalyse, z. B. als Beitrag zur effizienten Biomodifizierung von Wirkstoffen. Wie diese Beispiele zeigen, können wir also auch in Zukunft innovative Entwicklungen aus Ihrem Arbeitsbereich erwarten.

Unabhängig von diesem erwartungsvollen Blick in die Zukunft ist Ihre Bilanz, lieber Herr Wandrey, von mehr als 25 Jahren erfolgreicher Forschung in der Biotechnologie mehr als überzeugend. Wir blicken heute mit Ihnen zurück auf 25 Jahre Biotechnologie, speziell in unserem Land, und sehen eine Geschichte, die geprägt ist von Höhen und Tiefen, von Hoffnungen und Enttäuschungen, von Bedenkträgern und Optimisten. Die Tatsache, dass wir uns heute wieder in einer Hoch-Lage befinden, verdanken wir nicht zuletzt überzeugten Optimisten und Leistungsträgern wie Ihnen, lieber Herr Wandrey.

Im Rahmen des wissenschaftlichen Kolloquiums, das wir heute Vormittag zu Ihren Ehren veranstaltet haben, wurden diese positiven Entwicklungstrends aufgezeigt, wie z. B. im Wechselspiel von Chemie, Biologie und Verfahrenstechnik Zukunftsprobleme der Wirkstoffsynthese oder der Biomedizin gelöst werden können. Wohin die Reise wirklich geht, wissen wir heute nicht, wir hoffen aber, dass dieser Weg uns allen bessere Zukunftschancen mit Hilfe einer verantwortungsvollen Biotechnologie sichern wird.

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft verleiht Ihnen als einem herausragenden Gestalter dieses geradlinigen und realen Weges der Biotechnologie ihre höchste wissenschaftliche Auszeichnung, die Gaußmedaille, und wünscht Ihnen für Ihre zukünftige Arbeit allen denkbaren Erfolg.

---

Prof. Dr. rer. nat. Joachim Klein  
Hühnerkamp 21  
D-38104 Braunschweig



CHRISTIAN WANDREY, Jülich

**Technologie-Transfer in der Biotechnologie**

Braunschweig, 11. Juni 1999

Zunächst möchte ich der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft und ihrem Präsidenten, Herrn Prof. Kamp, von Herzen für die ehrenvolle Auszeichnung danken, die mir mit der Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille zuteil geworden ist. Herrn Prof. Klein, der schon meine Habilitationsschrift als auswärtiger Referent beurteilt hat, danke ich sehr für seine Laudatio. Herrn Prof. Schügerl, meinem verehrten akademischen Lehrer, danke ich dafür, daß er mich der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft vorgeschlagen hat. Ein Vorschlag, der offensichtlich erfolgreich war, so daß ich heute zu Ihnen sprechen kann. In meinen Dank einschließen möchte ich auch meine Frau. Wir beide freuen uns sehr über Ihre Einladung in diesem festlichem Rahmen.

Bei der Vorbereitung für diesen Vortrag habe ich mich ein wenig mit der Geschichte der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft und mit dem Leben von Carl-Friedrich Gauß beschäftigt. Unter den Motiven, die zur Gründung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft geführt haben, findet sich der Satz: „Maßgebend war der Wunsch nach Überwindung ... einer einseitigen Orientierung der Forschung auf *rasche Verwertbarkeit* ihrer Ergebnisse.“<sup>1</sup> Mir war die Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis immer wichtig und sie hat mir sogar Spaß gemacht. Das mag mit meinem Arbeitsgebiet, der Biotechnologie, zusammenhängen. Eine Definition für Biotechnologie lautet: Biotechnologie ist die *integrierte Anwendung* von Biochemie, Mikrobiologie und Verfahrenstechnik. Nach dieser Definition ist die Biotechnologie im engeren Sinne keine selbständige Wissenschaftsdisziplin, sie verknüpft vielmehr Ergebnisse anderer Disziplinen mit dem Ziel der Anwendung. Ich hatte und habe das Glück, mit Frau Prof. Kula (Biochemie) und Herrn Prof. Sahm (Mikrobiologie) seit vielen Jahren in Jülich zusammenarbeiten zu können. Ich benutze die Gelegenheit gern, um beiden für ihre langjährige fruchtbare Zusammenarbeit zu danken.

Obwohl von der Ausbildung her Chemiker, ist mein Feld heute mehr die Verfahrenstechnik oder genauer die Bioreaktionstechnik. Dabei geht es hauptsächlich um die Ausgestaltung und Berechnung von Apparaten – Bioreaktoren –, in denen, von Biokatalysatoren beschleunigt, interessante chemische Reaktionen ablaufen. Eine *rasche Verwertbarkeit* hat es aber schon deshalb nicht gegeben, da einfach der Transferprozeß von den ersten Ideen bis zur Umsetzung in die industrielle Praxis in der Mehrzahl der Fälle zwischen 7 und 10 Jahre gebraucht hat.

---

<sup>1</sup> Jahrbuch 1997 der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, Verlag Erich Golze GmbH & Co. KG, Göttingen, 1998.

Gauß selbst hat sich – so könnte man heute formulieren – um Technologietransfer bemüht: „Trotz aller Mühsal ... fühlte sich Gauß mit seinen geodätischen *Messungen* und Rechnungen einer traditionellen Aufgabe der *praktischen* Mathematik in hohem Maße verpflichtet.“<sup>2</sup> Die berühmte Gauß-Kurve, die heute noch jeden 10-Mark-Schein ziert, ist ein beredtes Beispiel dafür.

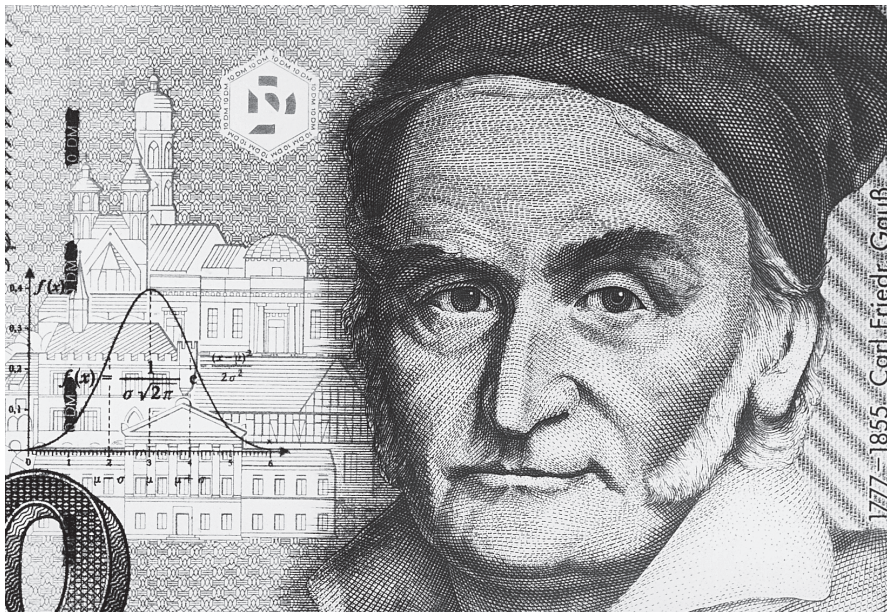


Abb. 1: Gauß-Kurve

Ich möchte Ihnen nun einige Beispiele dafür vorstellen, wie in unseren Forschungsarbeiten neue Ideen entstanden sind und wo sie Eingang in die Praxis gefunden haben. Die Forschung braucht heute mehr den je – angesichts eines hier schon voll realisierten globalen Wettbewerbs – Geld, um auf neue Ideen zu kommen (Invention). Die Forscher müssen – nach meiner Überzeugung – aber mehr als früher offen für die Umsetzung ihrer Ideen in die Praxis sein (Innovation). Es handelt sich gleichsam um einen Kreislauf, bei dem zunächst Geld in Wissen umgewandelt wird und danach Wissen in Geld.

<sup>2</sup> Hans Wußling, „Carl-Friedrich Gauß“, Teubner Verlagsgesellschaft, 1982.

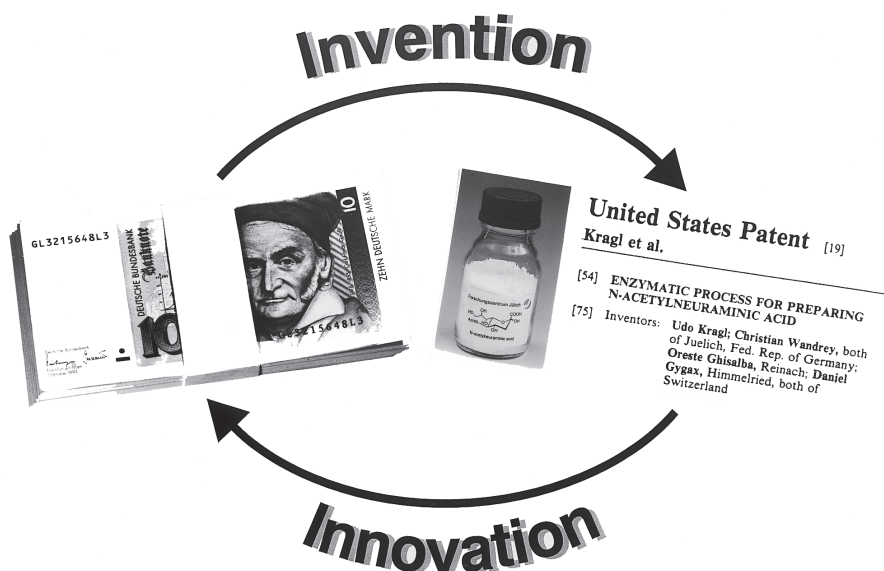


Abb. 2: Kreislauf von Geld und Wissen

Bei meinem ersten Beispiel geht es um biologische Abwasserreinigung. Die (finanzielle) Bedeutung dieses (Kreislauf)-Prozesses kann jeder Bürger abschätzen; wenn er auf seine Wasserrechnung sieht, merkt er, daß die Abwasserreinigung erheblich teurer ist als die Frischwasserbereitstellung. Die biologische Beseitigung von Abwasserinhaltsstoffen beruht hauptsächlich auf der kalten Oxidation von Kohlenstoffverbindungen zu Kohlendioxid und Wasser mit Hilfe von Luftsauerstoff; der sogenannten aeroben Abwasserreinigung mit „Atmern“. Dabei entsteht viel neue Biomasse, die zum Teil mit Hilfe anderer Mikroorganismen unter Ausschluß von Sauerstoff in Faultürmen zersetzt wird. Es war lange bekannt, daß solche Mikroorganismen nicht nur Klärschlamm, sondern auch Abwasserinhaltsstoffe direkt abbauen können. Die direkte Abwasserreinigung ohne Sauerstoff ist gleichsam eine *kalte Pyrolyse* - also die Zersetzung einer Verbindung in Bruchstücke unter Ausschluß von Sauerstoff.



So kann z.B. Glucose zu Kohlendioxid und Methan (Biogas) zersetzt werden. In Ermangelung des Luftsauerstoffes wird der in der Ausgangssubstanz enthaltene Sauerstoff benutzt, um einen Teil des Moleküls zu oxidieren. Damit bleibt ein anderer Teil des Moleküls als reduziertes Bruchstück zurück (Methan). Bei diesem Prozeß wird nur sehr wenig

Energie gewonnen, so daß die beteiligten Mikroorganismen sich nur sehr langsam vermehren. Deshalb galt die Abwasserreinigung ohne Sauerstoff, die sogenannte anaerobe Reinigung mit „Gären“, lange Zeit als „lahm“. Wir haben nun gefunden, daß die Stoffwechselaktivität von Gärern den Atmern durchaus vergleichbar ist. Dies macht auch biologisch Sinn, denn die prinzipiell limitierte Energiegewinnung dieser Mikroorganismen sollte nicht noch durch verminderten „Durchsatz“ weiter reduziert werden. Wir haben beobachtet, daß solche Mikroorganismen unter bestimmten Bedingungen dazu neigen, Oberflächen zu bewachsen. Dies kann dazu ausgenutzt werden, in makroporösen Trägermaterialien (z.B. Lavaschlacke) eine hohe Biomasse (Biokatalysator)-Konzentration zu erzeugen. In einem Bioreaktor, durch den das zu reinigende Abwasser läuft, läßt sich so der sich langsam vermehrende Biokatalysator optimal zurückhalten, bis der Überschuß aus den Poren herausquillt. Anaerobe Abwasserreinigung wird mit Mischpopulationen – in einer Freßkette – durchgeführt. Das Futter dafür (das Abwasser) fällt meist in einer Zusammensetzung an, das nicht das optimale „Menü“ für die Mikroorganismen darstellt. Fehlende Komponenten (z.B. Spurenelemente) müssen ergänzt werden. Wir haben eine optimale Mischpopulation, das beste Medium, die beste Temperatur und den besten pH-Wert durch eine rechnergeführte Selbstoptimierung des Prozesses gefunden, der an der Steigerung der Biogasproduktionsrate über einen optimalen (nicht maximalen) Selektionsstreß orientiert war.

Die Innovation im engeren Sinne bestand in der Entwicklung und Maßstabsvergrößerung eines sogenannten Festbett-Umlauf-Reaktors.

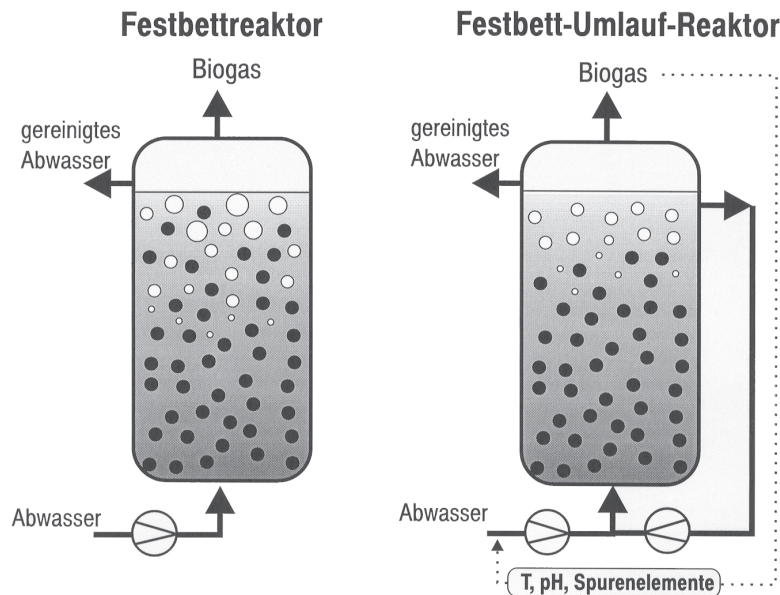


Abb. 3: Festbett-Umlauf-Reaktor

Das Abwasser durchströmt während einer Gesamtaufenthaltszeit im System mehrfach eine Säule. Während laufend gereinigtes Wasser den Kreislauf verläßt, speist eine Pumpe kontinuierlich Abwasser nach. Dadurch vermeidet man übermäßige Konzentrationsgradienten entlang der Betthöhe. Außerdem verläßt bei jedem Kreislauf das während eines Durchgangs gebildete Biogas das System, während das Wasser erneut umgepumpt wird. Dadurch verhindert man, daß allzu viele Gasblasen im System akkumulieren.

Zur Innovation gehörte auch die Überwindung von Vorurteilen, z.B. auch bei Genehmigungsbehörden, die eine bisher nicht erprobte Technik für nicht genehmigungsfähig hielten. Es wurden 3 Lizenznehmer gefunden, 8 Anlagen sind gebaut worden.

Bei dem nächsten Beispiel geht es um den Einsatz eines isolierten Enzyms zur Herstellung von L-Aminosäuren. Enzyme sind Biokatalysatoren, die man z.B. aus Mikroorganismen gewinnen kann. L-Aminosäuren sind die Bausteine von Eiweiß, die z.B. in Infusionslösungen benötigt werden. In der klassischen chemischen Synthese erzeugte Aminosäuren stellen ein Gemisch von Molekülen dar, die sich zueinander verhalten wie linke Hand und rechte Hand (L-Form und D-Form). Die für den Einsatz in der Humanmedizin gewünschte L-Form wird gleichsam auf einem Umweg erhalten, indem man ein Derivat beider Formen herstellt und anschließend diese Derivatisierung nur bei der L-Form mit Hilfe eines Enzyms wieder rückgängig macht. Die L-Form kann nun durch Kristallisation gewonnen werden, während die derivatisierte D-Form in der Lösung verbleibt. Als Derivate werden N-Acetylaminosäuren eingesetzt. Das erforderliche Enzym, eine sogenannte Acylase, gewinnt man mit erheblichem Aufwand aus Mikroorganismen. Daher wurde das Enzym in der Vergangenheit an Trägermaterialien gebunden, um es in einem kontinuierlichen Prozeß laufend wieder verwenden zu können.

Die Natur verwirklicht die kontinuierliche Nutzung ihrer Katalysatoren, z.B. in Mikroorganismen dadurch, daß sie Edukte (z.B. Glucose) über die Zellmembran (einer Hefezelle) aufnimmt und nach katalytischer Umsetzung die Produkte (z.B. Ethanol) über die Membran wieder abgibt. Wir haben eine mikrobielle Zelle als einen diffusiv betriebenen Enzym-Membran-Reaktor verstanden. Nur im Maßstab der Mikroorganismen ist der Stofftransport über die Diffusion schnell genug. Bei größeren Systemen wird der Stofftransport konvektiv (vgl. unser Herz) betrieben. Die Biotechnik benötigt also einen konvektiv betriebenen Enzym-Membran-Reaktor. Die Verwendung von Membranen ermöglicht dabei den kontinuierlichen Einsatz von Homogenkatalysatoren ohne Transportlimitierung, die bei der Trägerfixierung von Katalysatoren nie vollständig auszuschließen ist. Die praktische Umsetzung erfolgte in einem Kreislaufreaktor.

Kernstück des Flüssigkeitskreislaufes ist ein Hohlfasermodule. Dieses kann man sich vorstellen wie ein Bündel poröser Makkaronistangen. Der lösliche Katalysator und die Reaktanten werden im Kreis gepumpt. Das Edukt wird über eine zweite Pumpe laufend in den Kreislauf eingeführt. Eine entsprechende Menge Produkt verläßt den Kreislauf über die Poren der Membran, wobei der Katalysator zurückbleibt. Die Kreislaufpumpe sorgt dafür, daß sich der Katalysator nicht vor der Membran anreichert (Vermeidung von Konzentrationspolarisation). Da biologische Katalysatoren nur begrenzte Stabilität auf-



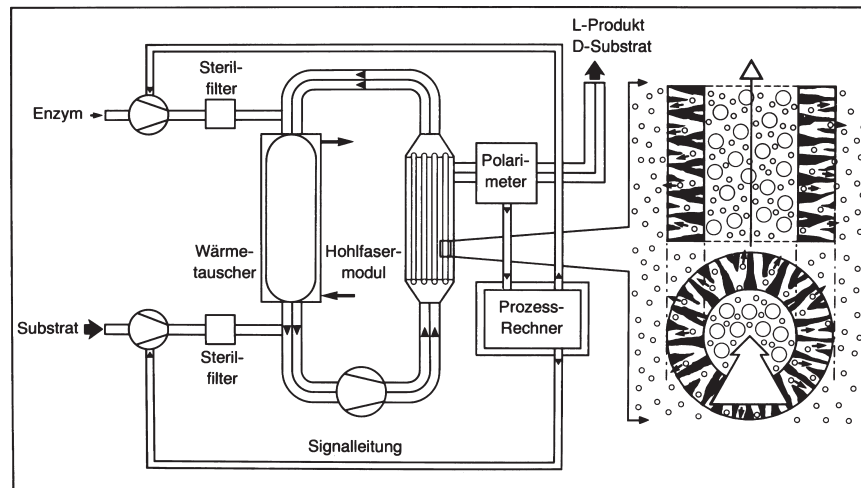
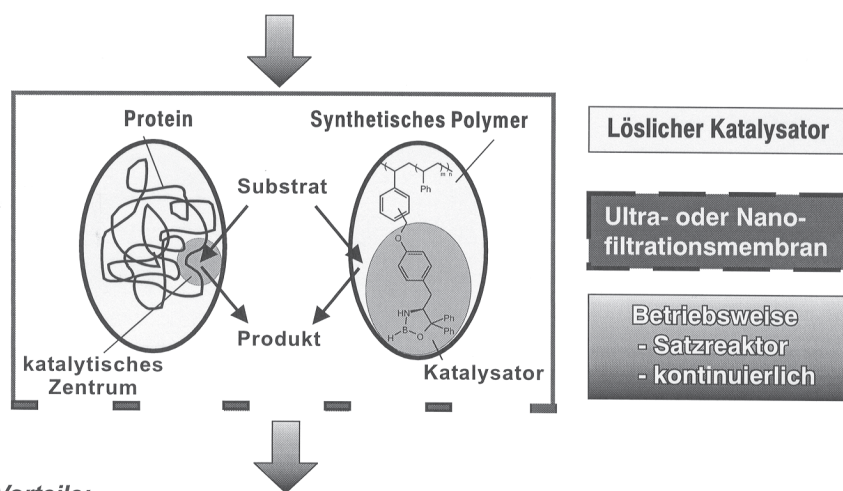


Abb. 4: Enzym-Membran-Reaktor

weisen, sorgt eine Enzympumpe für eine entsprechende Ergänzung (1 - 3 % der Ausgangsmenge pro Tag). Damit läßt sich auch erreichen, daß immer nur die gerade für einen bestimmten Umsatz benötigte Katalysatormenge zur Verfügung gestellt wird und man erhält eine wirtschaftlich optimale Regelung. Bei der Trägerfixierung von Enzymen kann man beobachten, daß Mikroorganismen diese gleichsam als Futter von der Oberfläche abknabbern. Durch Verwendung von Sterilfiltern, die für Mikroorganismen undurchdringlich sind, kann man dieses hier vermeiden. Das Produkt erhält man durch die Poren eines noch viel feineren Filters (Ultrafilter). Dieser Filter würde selbst Pyrogene (fiebererzeugende Substanzen, z.B. Bruchstücke von Mikroorganismen) zurückhalten. Daher kann man die so filtrierte Produktlösung direkt in der Medizin einsetzen. Das Verfahren wurde mit der Degussa AG zusammen kommerzialisiert. Zur Zeit werden jährlich etwa 250 Tonnen L-Methionin für Infusionslösungen produziert. Das entspricht einem Weltmarktanteil von 75 %.

Die Idee der kontinuierlichen Homogenkatalyse mit Biokatalysatoren läßt sich auch auf chemisch synthetisierte Katalysatoren übertragen. Heute nutzt man bei der Synthese von Homogenkatalysatoren auch die Erkenntnisse aus der Enzymkatalyse zur Herstellung sogenannter „Chemzymes“ oder „Synzymes“. Moderne Homogenkatalysatoren erreichen bisweilen die Stereoselektivität von Enzymen, sind an Wasser als Lösungsmittel nicht gebunden und können Redoxreaktionen unabhängig von Überträgermolekülen (Coenzymen) katalysieren. Daher lag es nahe, die erfolgreiche Idee des Enzym-Membran-Reaktors auf die Anwendung von chemisch synthetisierten Homogenkatalysatoren zu übertragen. Diese Katalysatoren sind jedoch zu klein, um von entsprechenden Membranen zurückgehalten zu werden. Bei der Heterogenisierung kommt es häufig zum Verlust der Stereoselektivität.

Die Lösung bestand in der Anbindung von Homogenkatalysatoren an lösliche Polymere über einen Abstandshalter (spacer-Molekül). Die eigentliche aktive Stelle des Katalysators ist von ähnlicher Größe wie bei einem Enzym. Zur dreidimensionalen Anordnung der aktiven Stelle eines Enzyms wird ein Biopolymer (Protein) in ausreichender Größe benötigt. Damit wird das Enzym membranrückhaltbar. Bei unseren Synzymen ersetzt man das Biopolymer durch ein nicht natürliches Polymer ausreichender Größe.



**Vorteile:**

- homogene Lösung ohne Stofftransportlimitierung
- Entkopplung der Verweilzeiten von Katalysatoren und Reaktanden

Abb. 5: Enzyme und Synzyme

Da die katalytische Aktivität (die sogenannte Wechselzahl) bei chemisch synthetisierten Homogenkatalysatoren häufig weit geringer ist als bei Biokatalysatoren, haben wir im Mittel 16 katalytisch aktive Zentren an ein lösliches Polymer gebunden. Dies erleichtert zusätzlich die Membranrückhaltung und ermöglicht pro Volumen so viele katalytisch aktive Zentren unterzubringen, daß hohe Raum-Zeit-Ausbeuten möglich werden. Es wurde zusammen mit der Degussa AG ein lösungsmittelstabiler, druckfester Membranreaktor entwickelt, in dem polymergebundene Homogenkatalysatoren bei so kurzer Verweilzeit eingesetzt werden können, daß unspezifische Nebenreaktionen diskriminiert werden können. Die Entwicklung hat den Pilotmaßstab erreicht. Die Produkte finden Anwendung als chirale Bausteine für die Pharma- und Agrosynthese.

Hydrierreaktionen sind in der Technik von großer Bedeutung. Dabei werden hohe Drucke, hohe Temperatur und häufig organische Lösungsmittel eingesetzt. Die entstandenen Moleküle sind normalerweise nicht chiral. Als Reduktionsmittel wird Wasserstoff einge-

setzt. Prinzipiell kann man eine Biohydrierung bei Normaldruck, Raumtemperatur und mit Wasser als Lösungsmittel durchführen. Dabei erhält man chirale Produkte. Man kann Wasserstoff als Reduktionsmittel einsetzen, aber auch wasserstoffhaltige Verbindungen, wie Glucose oder Ameisensäure. Ameisensäure ( $\text{HCOOH}$ ) ist besonders interessant, da nach Wasserstoffabspaltung  $\text{CO}_2$  entsteht, das einfach aus dem System entfernt werden kann.

Schon vor längerer Zeit hatte Prof. Sahm in einer methanolverwertenden Hefe (*Candida boidinii*) ein Enzym (Formiatdehydrogenase) identifiziert, das genau die eben beschriebene Reaktion katalysiert. Später war es Frau Prof. Kula, die die Bedeutung dieses Enzyms für präparative Hydrierungen erkannte. Wegen des hohen Preises dieses Biokatalysators blieb der Weg für eine praktische Umsetzung lange Zeit versperrt. Später haben wir erkannt, daß die Enzymproduktion in diesem Organismus wachstumsgekoppelt verläuft, was einen kontinuierlichen Prozeß ermöglicht. Methanol als Kohlenstoffquelle wird über Formaldehyd und Ameisensäure zu  $\text{CO}_2$  abgebaut. Für den letzten Schritt wird das Enzym Formiatdehydrogenase benötigt. Eine Mutante, die besonders viel von diesem Enzym zu synthetisieren vermag, hat also einen Wachstumsvorteil.

Diese Idee der kontinuierlichen Enzymfermentation wurde in einem 300-L-Fermenter verwirklicht, wobei mit Nährmedien gearbeitet wird, die mit sogenannten genetischen Algorithmen optimiert wurden. Eine spezielle Methanolregelung ermöglicht eine maximale Raum-Zeit-Ausbeute bezüglich des Zielproduktes (Formiatdehydrogenase). Es wurde ein Lizenznehmer gefunden. Das Enzym findet heute Anwendung in präparativen Biohydrierungen.

Eine wichtige biochemische Hydrierreaktion ist die reduktive Aminierung von  $\alpha$ -Ketosäuren zu optisch aktiven Aminosäuren.

Als Enzym wird eine L-Aminosäuredehydrogenase verwendet. Diese benötigt Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und ein Reduktionsmittel ( $\text{NADH}_2$ ). Die Abkürzung steht für Nicotinamid-Adenindinukleotid (NAD). Es handelt sich um eine Art molekulare Wasserstoffbatterie, die bei der Katalyse entladen (oxidiert) wird. Mit Wasserstoff wieder aufgeladen wird dieses Molekül durch ein zweites Enzym (Formiatdehydrogenase). Der Wasserstoff entstammt der Ameisensäure. Dabei entsteht als Nebenprodukt  $\text{CO}_2$ . Es stellte sich heraus, daß diese Biohydrierung auch zur Gewinnung nicht natürlicher Aminosäuren, für die kein genetischer Code besteht, eingesetzt werden kann. Die Wasserstoffüberträgermoleküle ( $\text{NAD}/\text{NADH}_2$ ) sind „von Haus aus“ zu klein, um in einem technischen Membranreaktor zurückgehalten zu werden. In der mikrobiellen Zelle wird dies durch eine selektive Biomembran erreicht. Durch Anbindung dieser Transportmetabolite an wasserlösliche Polymere konnte das Molekulargewicht so vergrößert werden, daß diese Moleküle nun membranrückhaltbar wurden, ohne ihre Funktion zu verlieren. Im Prinzip wurde die mangelnde Selektivität der technischen Membran durch Molekulargewichtsvergrößerung kompensiert. Bei der technischen Umsetzung haben wir ein Verfahren zur kontinuierlichen Nachdosierung von Komponenten des Multikatalysatorsystems auf der Basis der Bioreaktionstechnik entwickelt. Bisher limitierende Kosten für die Wasserstoffüberträgermoleküle (Coenzymkosten) wurden vernachlässigbar. Eine Kommerzialisierung erfolgte zusammen mit der Degussa AG am Beispiel der nicht natürlichen Aminosäure L-tert. Leucin, die als Baustein in der Pharmasynthese von Interesse ist.





Abb. 6: Kontinuierliche Enzymproduktion mit Methanol als Kohlenstoffquelle

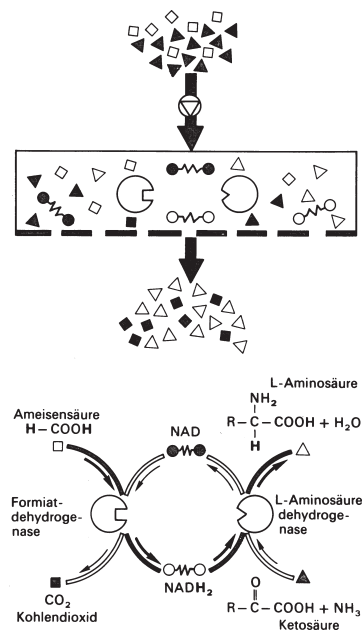


Abb. 7: Biohydrierung

Bei dem nächsten Beispiel geht es um eine Geräteentwicklung, die dazu beitragen kann, die Entwicklungszeiten für Bioprozesse künftig zu verkürzen. Bei der Überprüfung, ob Mikroorganismen für bestimmte synthetische Prozesse in Fermentationen einsetzbar sind, werden häufig hunderte von Schüttelkolben für verschiedene Stämme oder für verschiedene Mutanten eines Stammes in der Bioprozeßentwicklung eingesetzt. Der Schüttelvorgang soll für eine Vermischung und erforderlichenfalls für den Sauerstoffeintrag aus der Gasphase sorgen. Je besser Mikroorganismen jedoch wachsen, um so problematischer wird der Sauerstoffeintrag. Sie schnappen gleichsam nach Luft. Wer würde in einer vergleichbaren Situation auf die Idee kommen, sein Aquarium zu schütteln, um die Fische besser mit Sauerstoff zu versorgen? Der Aquarianer setzt einen Begasungsstein ein, mit dem möglichst Mikroblasen mit großer Oberfläche erzeugt werden. Wir haben im übertragenen Sinne ein Aquarium für Mikroorganismen entwickelt, bei dem die gesamte Bodenplatte in regelmäßigen Abständen feinste, mit einem Laser gebohrte Löcher enthält. Über diese Löcher erfolgt von unten die Erzeugung von Mikroblasen, die für einen hervorragenden Sauerstofftransport einerseits und eine Durchmischung andererseits sorgen. Das Gefäß muß also nicht mehr geschüttelt werden. Der Schüttelkolben hat sich zur Miniblasensäule gewandelt. Nunmehr können einfach Sensoren in das mechanisch nicht mehr bewegte Reaktionsgefäß eingesetzt werden. Außerdem wird die Nachdosierung von Medienkomponenten über die Sterilkappe am Kopf des Reaktionsgefäßes in einfacher Weise möglich. Die Kommerzialisierung erfolgte zusammen mit der Firma DASGIP mbH, Jülich. Sie bestand in der Entwicklung einer massiv parallelen Versuchstechnik, die im Labormaßstab Technikumsversuche ersetzen kann. Übliche Hardware-Regler wurden durch individuelle parameteradaptive Software-Regler ersetzt. Optimale Nachfütterungsstrategien (Speisenfolge für Mikroorganismen) wurden durch Integration von genetischen Algorithmen erreicht. Inzwischen sind 15 Anlagen in Betrieb.

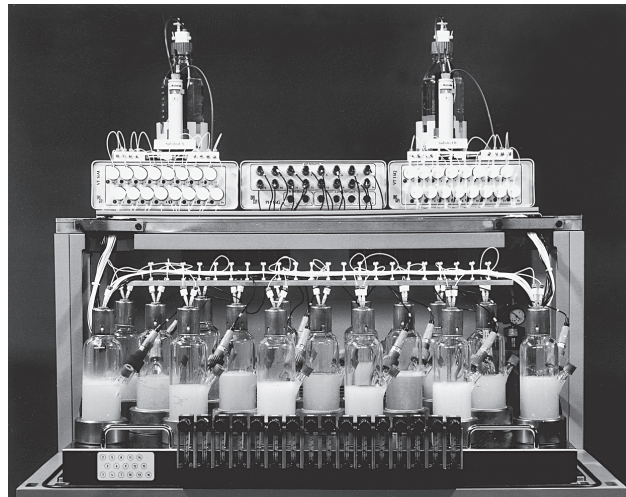


Abb. 8: Ein „Aquarium“ für Mikroorganismen

Auch bei dem letzten Beispiel geht es um eine Apparateentwicklung. In den letzten Jahren hat man zunehmend gelernt, Säugerzellen (auch menschliche Zellen) *in-vitro* zu züchten. Dies ist erheblich schwieriger als bei Mikroorganismen, da viele dieser Zellen mechanisch empfindlich sind und sehr spezifische Medien- und Kulturbedingungen erfordern. Daher ist die Maßstabsvergrößerung zum Teil immer noch ein Problem. Die Invention bestand in der Trägerfixierung von Säugerzellen in makroporösen Carriern, wobei eine gewebeähnliche Zelldichte erreicht wird. Eine blasenfreie Sauerstoffversorgung mit Silikonschläuchen mimikriert Lungenbläschen. Ein Wirbelschichtreaktor ermöglicht den Einsatz von so kleinen Trägerpartikeln, daß radiale Sauerstoffprofile in diesen Trägern vernachlässigbar werden.

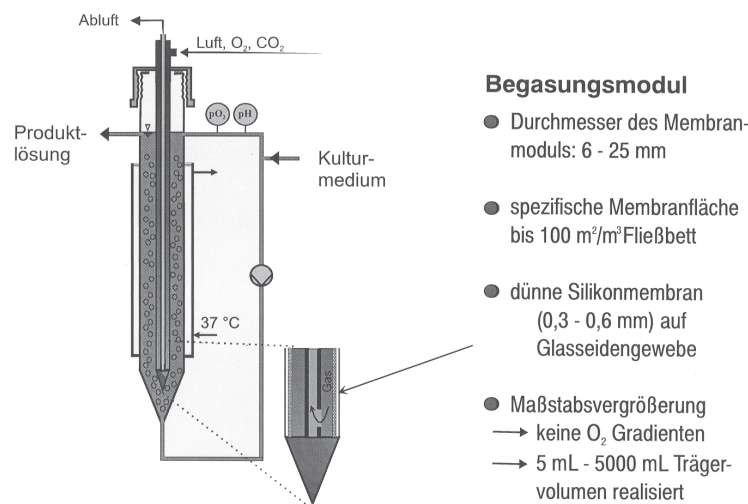


Abb. 9: Wirbelschicht-Bioreaktor

Die Innovation bestand in der Entwicklung von beschichteten Trägern, die von Säugerzellen „akzeptiert“ werden. Es wurde ein scale-up-fähiger Kreuzstrom-Wirbelschichtreaktor mit integrierter, blasenfreier Sauerstoffversorgung entwickelt. In diesem Reaktor bestehen keine axialen oder radialen Konzentrationsprofile. Eine Kommerzialisierung erfolgte mit der Firma Papaspyrou biotechnologie GmbH, Jülich. Am Beispiel der Produktion von monoklonalen Antikörpern mit Hybridomazellen. Mit der Firma MainGen GmbH, Frankfurt, wird die Vermehrung von humanen Stammzellen im Bioreaktor bearbeitet.

Mit meinen Beispielen wollte ich zeigen, daß Invention und Innovation von vergleichbarer Bedeutung sind. Was nützen die schönsten Ideen ohne Bemühungen um ihre praktische Umsetzung? Was nützt alle Erfahrung im Umsetzen guter Ideen, wenn keine neuen Ideen

generiert werden? Diese mehr rhetorisch gemeinten Fragen sind für mich ein Argument für eine noch stärkere Verzahnung von Lehre, Forschung und Umsetzung. Sie sind auch ein Argument für eine Zusammenarbeit von Wissenschaftlern ganz unterschiedlichen Alters. Die Spontanität der Jugend und die Erfahrung der Älteren müssen nach meiner Überzeugung in dem Kreislauf von Invention und Innovation zusammenkommen. In diesem Sinne möchte ich mich zum Abschluß bei den Mitarbeitern vom Institut für Biotechnologie der Forschungszentrum Jülich GmbH besonders bedanken.

---

Prof. Dr. Christian Wandrey  
Direktor am Institut für Biotechnologie · Institut 2  
Forschungszentrum Jülich  
Leo-Brandt-Str. · D-52428 Jülich

Urkunde des Gauß-Preisträgers

# DIE BRAUNSCHWEIGISCHE WISSENSCHAFTLICHE GESELLSCHAFT

VERLEIHT DIE

## CARL-FRIEDRICH-GAUSS-MEDAILLE

HERRN PROFESSOR

**DR. RER. NAT. CHRISTIAN WANDREY**

UNIVERSITÄT BONN UND FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH

IN WÜRDIGUNG SEINER WISSENSCHAFTLICHEN VERDIENSTE  
UM DIE WEITERENTWICKLUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN  
GRUNDLAGEN UND DER TECHNISCHEN ANWENDUNGEN DER  
BIOTECHNOLOGIE

Professor Christian Wandrey hat die wissenschaftliche Entwicklung der Biotechnologie durch seine aussergewöhnlichen Beiträge auf dem Gebiet der enzymatischen und mikrobiellen Biotransformation sowie auf dem Sektor der bioorganischen Chemie nachhaltig mitbestimmt. Er hat es verstanden, diese Forschungsergebnisse in die industrielle Praxis zu überführen. Diese herausragenden Arbeiten umfassen insbesondere die Entwicklung eines Hochleistungsverfahrens zur anaeroben Reinigung hochbelasteter Abwässer, die technische Realisierung von Verfahren zur Durchführung von Biotransformationen mit Enzymen und Mikroorganismen, Verfahren zur Produktion von Proteinen mit tierischen Zellkulturen wie auch die Entwicklung neuartiger Bioreaktoren.

Braunschweig, den 30. April 1999



Präsident  
der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft

## Verleihung der Gauß-Medaille

**Wandrey, Christian**, Dr.rer.nat., Professor für Biotechnologie an der Universität Bonn und Direktor am Institut für Biotechnologie des Forschungszentrum Jülich GmbH, Leo-Brandt-Straße, 52425 Jülich

12.04.1943	geboren in Plauen
1962	Abitur
1964 – 1970	Chemiestudium in Hannover und Bristol/Großbritannien
1973	Promotion an der Universität Hannover
1977	Habilitation an der Universität Hannover
1976	Hochschulassistent an der Universität Hannover
1977	Privat-Dozent für Technische Chemie an der Universität Hannover
1977	Berufung an die Technische Universität Clausthal (C3-Professur für Chemische Verfahrenstechnik)
1979	Berufung an die Universität Bonn (C4-Professur für Biotechnologie) und zum Direktor am Institut für Biotechnologie der Forschungs- zentrum Jülich GmbH
Publikationen:	ca. 280 wissenschaftliche Arbeiten in Fachzeitschriften und Sammel- werken sowie drei Bücher, außerdem 59 Patente
Ehrungen und Auszeichnungen:	Technologie-Transfer-Preis des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, Philip-Morris-Forschungspreis, Enzyme Engineering Award der Engineering Foundation, New York
Mitgliedschaften:	Mitglied in zahlreichen Gesellschaften, Editorial Boards und Bera- tungskommissionen, u. a. im Technologierat des Bundeskanzlers (Biotechnologie), Mitglied der Expertengruppe des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung auf dem Gebiet der Biotechnologie und Mitglied einer Gutachtergruppe zur Beurteilung von Forschungsanträgen auf dem Gebiet Zellbio- logie/Zellkulturtechnik, Europäische Gemeinschaft, Brüssel

## **Schlussworte des Generalsekretärs**

Sehr geehrte Damen und Herren,

wir haben bei der heutigen Veranstaltung, sowohl beim wissenschaftlichen Kolloquium als auch im Zusammenhang mit der Verleihung der Carl Friedrich Gauß-Medaille an Prof. Wandrey, außerordentlich interessante Informationen über den Stand und die Methodik der modernen Biotechnologie erhalten, die uns die Bedeutung dieses Wissensgebietes für die Gegenwart und die weiter wachsende Wichtigkeit seiner Ergebnisse für unser aller Zukunft in beeindruckender Weise gezeigt haben. Ich danke dafür den Sprechern im wissenschaftlichen Kolloquium, Herrn Prof. Sahm, Herrn Dr. Schellenberger, Herrn Dr. Hauser und Herrn Prof. Quinkert sehr herzlich.

Auch dem Laudator Prof. Klein und vor allen Dingen dem Gauß-Preisträger möchte ich ebenfalls für ihre hervorragenden Beiträge danken. Herr Wandrey, Sie sagten gestern Abend, dass das Gewicht der Kette der bisherigen Gauß-Preisträger Sie sehr beeindruckte und sogar etwas belastete. Nun sind Sie, worüber wir uns alle sehr freuen, selbst eins der Glieder dieser Kette und erhöhen ihr Gewicht für den nächsten Preisträger nochmals erheblich.

Damit, meine Damen und Herren, darf ich die Feierliche Jahresversammlung der BWG abschließen und Ihnen einen schönen Abend wünschen.





# **Die Begriffe Risiko und Gefahr im Recht und in der Technik**

**2. Colloquium der Kommission  
„Recht und Technik“  
der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft**



WERNER THIEME, Hamburg

## Einführung

Hannover 28. Juni 1999

Die Kommissionen der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft werden bei ihrer Einsetzung mit einem bestimmten Auftrag betraut. Die Kommission „Recht und Technik“, die heute Träger unseres Colloquiums ist, hat von der Plenarversammlung der BWG im Dezember des vergangenen Jahres den Auftrag erhalten, sich mit dem Risikobegriff auseinanderzusetzen. Dieser Begriff ist ein Begriff der Ingenieure und der Juristen. Beide müssen mit diesem Begriff arbeiten. So lag es nahe, gerade diesen Problembereich zu wählen. Unsere heutige Veranstaltung ist der Start zur Bewältigung dieser Aufgabe.

Wenn ich vom Start der Arbeit spreche, so gehe ich gemäß dem Verständnis der Kommissionsmitglieder davon aus, daß es nicht möglich ist, unsere Aufgabe an einem Tage zu leisten. Wir haben zwar zwei hochkompetente Vortragende gebeten und es ist uns gelungen, einen Kreis von sachverständigen Hörern und Mitdiskutanten heute um uns zu versammeln. Dafür sind wir sehr dankbar. Es ist mir ein Anliegen, hier diesen Dank auszusprechen. Aber, so kompetent der Kreis derer ist, die sich hier versammelt haben, der heutige Tag kann trotzdem nur ein Anfang sein.

Am Anfang steht für den Wissenschaftler zumeist der Begriff des Gegenstandes oder der Gegenstände, über die er nachdenkt oder spricht. Da wir uns unserem Gegenstand von zwei verschiedenen Wissenschaften her nähern, müssen wir uns zunächst vergewissern, ob wir wirklich über denselben Gegenstand sprechen, wenn wir das Wort „Risiko“ benutzen. Wir erwarten mit Spannung, was uns die Vortragenden sagen werden und inwieweit sich ihre Begriffe zur Deckung bringen lassen.

Man erlebt bei solchen Vergleichen immer wieder Überraschungen. Ich erinnere mich noch an ein Projekt, das unsere Hamburgische Universität mit der Universität St. Petersburg – damals hieß sie noch Universität Leningrad – im Rahmen eines Partnerschaftsverhältnisses vereinbart hatte. Wir wollten gemeinsam über den Begriff der „Verwaltungskontrolle“ nachdenken. Als die ersten Papiere zum Thema eintrafen, bemerkten wir zu unserer großen Überraschung, daß wir etwas sehr Unterschiedliches meinten, wenn wir von „Verwaltungskontrolle“ sprachen. Wir Deutschen sprachen über die Kontrolle der Verwaltung zum Schutze der Bürger, die Russen dagegen von der Kontrolle der Bürger durch die Verwaltung; beides ist „Verwaltungskontrolle“.

Ich bin überzeugt, daß wir hier und heute nicht auf derartig starke Divergenzen stoßen werden. Aber ich möchte schon vermuten, daß die Sichtweisen nicht völlig übereinstimmen, was letztlich wohl auch mit den jeweils zu behandelnden Problemen zu tun hat. Immerhin, beide Wissenschaften, die Ingenieurwissenschaften und die Rechtswissenschaft, haben eine gewisse Verwandtschaft, sie sind angewandte Wissenschaften. Selbstverständlich kommen sie nicht ohne Theorie aus, denn seit Kant wissen wir, daß nichts so praktisch ist wie eine gute Theorie.

Beide Wissenschaften zielen auf Problemlösungen in der Praxis. Der Jurist will Entscheidungen bei Konflikten, will gesellschaftlich befriedigende Entscheidungen, will Rechtsfrieden. Der Ingenieur will Instrumente bereitstellen, durch die er dem einzelnen Menschen und der Gesellschaft Nutzen bringen kann. Beide, der Jurist und der Ingenieur, stoßen bei ihrer Arbeit auf den Begriff des „Risikos“. Wenn wir dieses „Auf-das-Risiko-stoßen“ betrachten, ergibt sich – aus meiner Sicht – allerdings eine sehr unterschiedliche Lage.

Der Ingenieur will nicht nur einfach ein Problem lösen, z. B. ein Brücke bauen, sondern er will eine Brücke bauen, die einerseits dem Verkehrsbedürfnis entspricht, andererseits nicht einstürzt und drittens möglichst geringe Ressourcen in Anspruch nimmt und vielleicht soll sie auch noch ästhetisch ansprechend sein. Er steht unter einer Mehrzahl von Zielen, die er zu realisieren hat und die sich teilweise widersprechen, die in Konflikt zu einander stehen. Dabei hat er sehr oft Probleme vor sich, die er mit Messungen und mit Zahlen zu einer Lösung bringen kann. Er hat es unter Umständen mit mehreren Risikofaktoren zu tun, die er gegeneinander abwägen muß.

Der Ingenieur hat es bei seiner Arbeit außerdem mit einem prognostischen Element zu tun. Er muß Aussagen für die Zukunft machen. Um bei dem Beispiel der Brücke zu bleiben. Der Ingenieur muß prognostizieren, welche Kräfte wohl im Laufe der Jahrzehnte auf sein Brückenbauwerk einwirken. Und er muß prognostizieren, welche Unterhaltungskosten sein Bauwerk voraussichtlich hervorrufen wird. Die Ungewißheit gegenüber der Zukunft schafft die Risikosituation, mit der der Ingenieur sich auseinandersetzen muß.

Anders steht es mit dem Juristen. Er findet gewissermaßen das von der Technik geschaffene Risiko oder jedenfalls die Risikoplanung vor. Er steht vor der Frage, ob er – in Verantwortung vor den Menschen, die die Technik nutzen – bestimmte Risiken tolerieren kann. Dies ist nicht notwendig eine Entscheidung des Juristen, wie die Problematik des Umgangs mit den Risiken von Atomkraftwerken zeigt. Der Politiker hat hier die Entscheidung. Aber die Entscheidung über das im Einzelfall hinzunehmende oder nicht hinzunehmende Risiko muß operational gemacht werden, d.h. die politische Entscheidung muß in Normen umgesetzt werden, die ihrerseits von Verwaltungsbehörden und Gerichten angewandt werden können, wobei der rechtsstaatliche Grundsatz der Bestimmtheit des Gesetzes zu beachten ist. Hierbei erhält das prognostische Element ein noch viel stärkeres Gewicht. Denn die Norm ist grundsätzlich für eine längere Dauer bestimmt und die technische Entwicklung, die in dieser Zeit abläuft, ist nur schwer prognostizierbar. Trotzdem muß die Norm mit Langzeitwirkung stets funktionieren.

Da die Umsetzung der politischen Entscheidung in einer Wechselwirkung zur Entscheidung über die Norm steht, wird der Jurist immer wieder an dem Vorgang der Politikformulierung beteiligt, sei es, daß die politischen Parteien ihn in politische Ämter berufen, sei es, daß er als Berater dem Politiker zur Seite steht. Aber – wenn wir es exakt nehmen – die Politikformulierung ist das eine und die juristische Definition und Operationalisierung ist das andere.

Der Jurist hat es bei diesem Vorgang vor allem mit sprachlicher Formulierung zu tun. Seine Normen sind Texte, deren inhaltliche Deutung er mit der geisteswissenschaftlichen Methode der Exegese oder Hermeneutik zu bewältigen versucht.

Dabei steht er unter einem weiteren Gebot. Der Jurist muß ein Normengebäude zur Verfügung stellen, das grundsätzlich in der Lage ist, alle jemals vorkommenden Probleme zu lösen. Sicherlich, jedes Gesetz hat seine Lücken und der Jurist hat eine wissenschaftlich unterbaute praktische Methode der Lückenfüllung entwickelt. Aber es bleibt die primäre Forderung, daß Gesetzeslücken vermieden werden sollten; dies gilt auch für die Normen der Technik.

Daher muß der Jurist neben unendlich vielen speziellen Lösungen für technische Risikoprobleme auch Lösungen, d.h. Normen für Probleme zur Verfügung stellen, die noch nicht vorgedacht sind. Und diese Normen müssen sich für die heute noch nicht erkennbare Situation als möglichst sinnvoll erweisen.

Der Normgeber arbeitet langsam, in zum Teil sehr umständlichen Verfahren; die Welt der Technik schreitet schnell fort. In unserem ersten Colloquium, das sich mit Fragen der Normen im Recht und in der Technik befaßt hatte, haben wir erkannt, daß die staatliche Normgebung nicht in der Lage ist, das Problem der Weiterentwicklung von Normen auf dem Gebiet der Technik mit hinreichender Geschwindigkeit zu bewältigen, daß daher die verschiedensten Instrumente nicht staatlicher technischer Normgebung unabdingbar für die technisierte Gesellschaft des 20. und noch mehr wohl für die des 21. Jahrhunderts sind, um zu einer hinreichend dichten Regulierung zu kommen; die DIN-Normen waren damals unser zentraler Gegenstand. Dabei darf ich anmerken, daß entgegen den Wünschen und Vorstellungen unserer heutigen Deregulierer der objektive Normenbedarf in der Praxis unabwiesbar steigt.

Wir kommen unter dem Zwang, für alle technischen Probleme Normen vorzuhalten, um alle Probleme juristisch, d.h. gesellschaftlich entscheidbar zu machen, nicht ohne Generalklauseln aus. Hier liegt nach meiner Prognose das Zentralproblem unserer Arbeit am heutigen Tage und im weiteren Verlauf der Arbeit der Kommission „Recht und Technik“ der BWG. Ich sagte schon, unser „Job“ als Juristen ist der Umgang mit der Sprache. Wir suchen nach Worten, um technische Probleme so zu bewältigen, daß sie für uns entscheidbar werden. Wir müssen in Worten ausdrücken, wann ein Risiko, das uns die Technik beschert, tolerabel ist und wann nicht. Dabei müssen wir uns mit unserer Sprache beim Ingenieur und Naturwissenschaftler verständlich machen. Umgekehrt müssen wir versuchen, die Sprache des Naturwissenschaftlers und des Ingenieurs zu verstehen.

Das ist keine leichte Aufgabe. Zuweilen wird – gerade an uns Juristen – die Forderung gestellt, wir sollten uns allgemeinverständlich ausdrücken. So gern wir das tun, wir können es nicht. Dies zeigt sich beispielhaft in der Begegnung mit dem Ingenieur. Wenn wir versuchen wollten, Probleme der Technik in die Sprache des Journalismus oder der Romanschriftstellerei zu fassen, so würde nicht nur alle Präzision, auf die wir Wert legen, sondern auch die Verbindung zu anderen Wissenschaften, mit denen wir kooperieren müssen, verloren gehen. Wir haben daher keine Furcht vor der Technizität der Sprache des Ingenieurs, mit der wir uns auseinandersetzen, mit dem wir uns vor allem aber verständigen wollen. Ich sehe es als eines der wichtigsten Aufgaben unserer Kommission an, daß es uns gelingt, mit einander zu sprechen, ohne uns mißzuverstehen.

Erlauben Sie, daß ich es bei diesen wenigen Vorbemerkungen bewenden lasse. Zur Sache möchte ich nicht sprechen, vor allem nicht eine Art Vorreferat zu den Referaten

halten. Aber eines möchte ich noch einmal betonen: Dieses Colloquium ist der Anfang unserer Arbeit. Es ist beabsichtigt, die Vorträge, die vorbereiteten Statements und die Ergebnisse der Diskussion – wie beim ersten Colloquium – im Jahrbuch der BWG zu drucken. Aber schon vor der Drucklegung wird sich die Kommission mit den Ergebnissen befassen und diskutieren, wie es weiter geht, welche Konsequenzen wir für unsere Arbeit aus dem Ergebnissen des heutigen Tages zu ziehen haben. Ich sage dies auch im Hinblick auf die Diskussion des heutigen Nachmittags. Wir hoffen auf zahlreiche Anregungen von Ihnen, nicht nur zur Sache, sondern auch solche, die uns Hinweise geben, wo Sie im Rahmen des Gesamproblems „Risiko“ einzelne Problemfelder sehen, deren Bearbeitung in Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Juristen erfolgversprechend erscheint.

Für die Weiterarbeit kann ich mir vorstellen, daß wir uns auch mit der Bewertung von Risiken befassen, wo sehr vieles irrational verläuft, wie eine im Max-Planck-Institut für Bildungsforschung entstandene Studie zeigt. Wenn man z.B. das Risiko, an BSE-Fleisch und am Nikotingenuß zu sterben, in ihrer statistischen Häufigkeit mit einander vergleicht, so ist die Reaktion von Staat und Gesellschaft auf dieses Problem wohl kaum als rational zu bezeichnen. Wir werden uns daher vielleicht auch mit der Frage beschäftigen, ob wir unsere Arbeit verbreitern können, ob wir irgendwann einmal auch Soziologen und Psychologen heranziehen. Aber das sind Erwägungen für die Zukunft.

Ich danke Ihnen, auch im Namen der anderen Kommissionsmitglieder, daß Sie gekommen sind, und wünsche Ihnen einen interessanten und anregenden Tag.

## Vorwort

Die Kommission „Recht und Technik“ der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft hat ihr 2. Colloquium am 28. Juni 1999 in Hannover durchgeführt. Teilnehmer waren Mitglieder der Gesellschaft und Fachleute als geladene Gäste. Mit dem Colloquium, das in diesem Heft dokumentiert wird, hat die Kommission den ersten Schritt zur Bearbeitung des Problembereichs „Risiko und Gefahr in Recht und Technik“ aufgenommen. Weitere Colloquien sollen folgen.

Abgedruckt sind in diesem Heft die Vorträge, die vorbereiteten Statements und ein Diskussionsbericht. Der Diskussionsbericht ist aus einer (nicht wörtlichen) Mitschrift entstanden, die den Teilnehmern mit der Bitte um Durchsicht, Änderung und Erweiterung übersandt worden ist. Der Kommission ging es nicht darum, eine wortgetreue Wiedergabe dessen, was in der Diskussion gesagt worden ist, drucken zu lassen. Es bestand vielmehr die Absicht, den Diskussionsteilnehmern die Gelegenheit zu geben, anhand der Protokoll-Aufzeichnungen ihren Standpunkt zu den aufgeworfenen Fragen am Schreibtisch möglichst umfassend und klar darzustellen. Von dieser Möglichkeit haben einige Teilnehmer intensiv Gebrauch gemacht, wofür die Kommission dankbar ist.

Im übrigen ist in dem hier abgedruckten Bericht über die Aussprache nicht die Reihenfolge der Beiträge am 28. Juni 1999 eingehalten worden. Es ist vielmehr versucht worden, die einzelnen Beiträge in ihren sachlichen Zusammenhang mit anderen Diskussionsbeiträgen zu stellen, um die Möglichkeit der Argumentation mit pro und contra für den Leser leichter erkennbar zu machen.

Die Kommission dankt den Teilnehmern für die Vorträge und für die Mitarbeit, sowie der BWG für die Drucklegung. Das Colloquium wurde materiell von der Messe AG Hannover gefördert; auch hierfür sei noch einmal gedankt.

Im November 1999

Scheer

Thieme





FRANZ-JOSEPH PEINE, Berlin

## **Gefahr, Risiko, Restrisiko – Begriffsbestimmungen und Probleme aus juristischer Sicht –**

Hannover, 28. Juni 1999\*

### **I.**

Die Begriffe Gefahr, Risiko und Restrisiko sind Termini, die zum großen Komplex des Rechts der Sicherheit zählen. Es läßt sich problemlos der Nachweis für die Richtigkeit der Behauptung führen, daß der Zentralbegriff des Rechts der Sicherheit – dieses Recht bezeichnet man auch als Polizei- oder Ordnungsrecht – der Begriff der Gefahrenabwehr ist. Sicherheitsrecht, Polizeirecht und Ordnungsrecht sind deshalb Gefahrenabwehrrecht. In welcher Weise mit dem Begriff der Gefahr die Termini Risiko und Restrisiko zusammenhängen, bedarf der Darstellung. Hinzuweisen ist darauf, daß die angesprochene Relation bestritten ist. Losgelöst von den rechtlichen Fragen, die es zu beantworten gilt, bestehen mit Blick auf die Relation Vermischungen und Unklarheiten auch im „allgemeinen“ gesellschaftlichen Bereich – ein Hinweis auf das Stichwort „Risikogesellschaft“ mag genügen. Diese Unklarheiten haben auch im Bereich des Rechts zu Verwirrungen geführt.

Bevor ich mich der definitorischen Arbeit zuwende, sei ein kurzer Blick auf den Traditionszusammenhang der Gefahrenabwehr gestattet. Der Blick soll zeigen, daß meine Aufgabenstellung Grundfragen des modernen Staates betrifft.

Das Monopol zur Ausübung von Gewalt liegt heute beim Staat. Es liegt dort deshalb, weil die Existenz des Staates damit zu rechtfertigen ist, daß er Leben und Gesundheit seiner Bürger schützt – gegen Gefahren, die diesen von innen wie von außen drohen. Die Ausübung dieser Schutzfunktion regelt das Polizeirecht; es legitimiert und limitiert zugleich staatliches Handeln – Polizeirecht ist in einem Verfassungsstaat der Qualität, wie die Bundesrepublik einer ist, immer auch die Handlungsmöglichkeiten des Staates begrenzendes Recht: nicht Sicherheit gegen Freiheit, sondern Sicherheit und Freiheit lautet die Maxime. „Der Verfassungsstaat macht sich das Staatsziel Sicherheit zu eigen und bringt es mit dem Ziel der Freiheit zum Ausgleich dadurch, daß er die Freiheit der Bürger durch Maßnahmen der Gefahrenabwehr nicht stärker beschränkt als von der Sache her erforderlich und angemessen, daß er auch den Störer als Rechtssubjekt achtet und das Schutzbedürfnis des Gefährdeten als subjektives Recht anerkennt“ (Isensee).

Das Gefahrenabwehrrecht ist heute in jedem Bundesland allgemein in Gestalt sogenannter Polizeigesetze normiert – in Niedersachsen heißt dieses Gesetz sogar Gefahrenabwehrgesetz. Jenseits dieses „Basisgesetzes“ gibt es eine Vielzahl von Spezialgesetzen, die ebenfalls der Gefahrenabwehr dienen. Als Beispiele seien genannt: das Bundes-Immissions-

---

\* Vortrag gehalten beim 2. Colloquium der Kommission „Recht und Technik“ der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

schutzgesetz – es dient der Abwehr von Gefahren, die von Anlagen ausgehen; das Gerätesicherheitsgesetz – es dient der Abwehr von Gefahren, die u.a. von technischen Arbeitsmitteln ausgehen; das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz – es dient der Abwehr von Gefahren, die von Abfällen ausgehen. Der Begriff der Gefahr hat in den Basisgesetzen eine Legaldefinition gefunden, die einer mehr als hundert Jahre dauernden Rechtsprechung entspricht. Für die Begriffe Risiko und Restrisiko trifft diese Aussage nicht zu. Die angesprochenen Spezialgesetze enthalten bestimmte Anforderungen, die eine Anlage etc. erfüllen muß; bei Vorliegen dieser Anforderungen gehen die Gesetze davon aus, daß eine Gefahr vermieden ist. Teilweise gehen diese Gesetze auch in dieser Weise mit dem Risiko um. Für den Begriff Restrisiko fehlt auch in diesen Fällen eine gesetzliche Aussage.

## II.

1. Ich wende mich nun der Aufgabe des Definierens der drei relevanten Begriffe zu. In Abkehr von der Reihenfolge der Überschrift beginne ich mit dem Begriff „Risiko“. Hingewiesen werden muß freilich darauf, daß der Begriff „Gefahr“ der „klassische“ Ausgangspunkt im Bereich des Rechts der Sicherheit ist.

Der Begriff des Risikos wird im Bereich des Rechts in zwei differenten Weisen genutzt. Manchmal wird der klassische Gefahrenbegriff in den Bereich bloß theoretischer Schadensmöglichkeiten erweitert – Risiko erfaßt dann den Bereich der Gefahr sowie einen Bereich jenseits der Gefahr; manchmal bildet der Begriff des Risikos den Oberbegriff, dann ist die Gefahr ein Unterfall des Risikos.

Risiko meint im allgemeinen Sprachgebrauch, der zunächst einmal beachtet werden sollte, die Möglichkeit des Eintritts eines unerwünschten Ereignisses, bezogen auf ein bestimmtes Geschehen. Von einem Risiko läßt sich nur dann sprechen, wenn die Folgen einer Aktivität ungewiß sind; der sichere Eintritt eines unerwünschten Ereignisses ist kein Risiko. Der Gegenbegriff zu Risiko ist deshalb Sicherheit. Von diesem Begriff ausgehend bildet jede Unsicherheit über den Eintritt eines unbestimmten Ereignisses ein Risiko. Für den Bereich des Rechts der Sicherheit ist diese Aussage in Ansehung der vom Recht geschützten Güter zu konkretisieren. Risiko bedeutet Unsicherheit für ein rechtlich geschütztes Gut, für ein „Schutzgut“.

Ob sich die Unsicherheit für ein Schutzgut derart realisiert, daß das unerwünschte Ereignis eintritt, ist eine Frage des Einzelfalls. Es gibt ganz offensichtlich unterschiedliche Eintrittswahrscheinlichkeiten. Diese unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten nennt man Risikomaß.

Im Bereich des Rechts der Sicherheit stellt sich die Frage, bei welchem Risikomaß der mit Hilfe des Rechts zu bewirkende Schutz vor der Realisierung des unerwünschten Ereignisses einsetzen soll. Der Gesetzgeber beantwortet diese Frage regelmäßig dadurch, daß er einen schützenden Eingriff des Staates bei Vorliegen einer Gefahr erlaubt. Was eine Gefahr ist, werde ich unter Berücksichtigung der Gesetzeslage darstellen. An dieser Stelle läßt sich festhalten, daß die Gefahr entsprechend dem hier zur Anwendung gebrachten allgemeinen Sprachgebrauch ein spezielles Risiko darstellt. Der Begriff „Risiko“ ist nach alledem der Oberbegriff. „Gefahr“ ist ein Unterbegriff. Man kann diesen Sachverhalt auch mengentheoretisch formulieren: Die Gefahr ist eine Teilmenge der Menge Risiko.

2. Mit der wohl herrschenden Meinung in Rechtsprechung und Literatur gehe ich im Folgenden von diesem Verständnis nicht aus, sondern davon, daß die drei Begriffe, mit denen wir uns zu befassen haben, auf einer bestimmten Strecke jeweils drei voneinander zu trennende Bereiche einnehmen; die drei Begriffe füllen die Strecke, ohne sich zu überschneiden, vollständig aus. Die drei Begriffe sind hierarchisch gleichgeordnet; der Oberbegriff ist „Unsicherheit“. Bei Außerachtlassung des Restrisikos betrachtet man Gefahrenabwehr und Restrisiko auch als zwei mögliche Punkte einer Skala zunehmender, bis an die Grenze des technisch Möglichen reichender Sicherheit (Marburger, Kloepfer, Di Fabio). - Ich gehe mit Blick auf die Definition in dieser Weise vor, damit sich den drei Begriffen differente Reaktionspflichten des Gesetzgebers einerseits sowie gestuft subjektive Rechte des einzelnen andererseits zuordnen lassen. Ich stelle Ihnen ein Drei-Stufen-Modell vor; dieses Modell ist nicht neu; als literarische Vertreter dieses Modells lassen sich Breuer, Götz und Kloepfer anführen.

1. *Stufe:* *Gefahr* ist eine Sachlage, bei der im einzelnen Falle die hinreichende Wahrscheinlichkeit besteht, daß in absehbarer Zeit ein Schaden für die öffentliche Sicherheit eintreten wird. – Das Schlagwort lautet: Der Eintritt des Schadens ist theoretisch und praktisch möglich.
2. *Stufe:* *Risiko* ist die Möglichkeit eines Schadens, dessen Eintrittswahrscheinlichkeit geringer als die bei einer Gefahr ist.- Das Schlagwort lautet: Der Eintritt des Schadens ist theoretisch möglich, praktisch unwahrscheinlich.
3. *Stufe:* *Restrisiko* ist die Möglichkeit eines Schadens, dessen Eintrittswahrscheinlichkeit jenseits der Schwelle praktischer Vernunft liegt.- Das Schlagwort lautet: Der Eintritt des Schadens ist theoretisch möglich, praktisch ausgeschlossen.

Unter dem Aspekt der Reaktion des Staates korrespondiert dem Begriff der Gefahr begrifflich die Gefahrenabwehr, dem Begriff des Risikos die Vorsorge (Risikovorsorge). In der Literatur findet sich häufig anstelle des Begriffs Vorsorge/Risikovorsorge der Begriff Gefahrenvorsorge; dieser Sprachgebrauch entspricht nicht dem hier gewählten Ausgangspunkt und erscheint mir im übrigen auch unlogisch.

Unter dem Aspekt, der die Differenzierung bestimmte, nämlich zunächst die differenten Gesetzgebungspflichten, läßt sich festhalten: Ein *Gefahrenabwehrrecht* muß es gegen; ob bei Vorliegen einer Gefahr im Einzelfall der Staat gefahrenabwehrende Maßnahmen ergreift oder ergreifen muß, ist eine Frage der gesetzlichen Ausgestaltung; die Gesetze räumen der Verwaltung regelmäßig Ermessen sowohl mit Blick auf das Ob als auch auf das Wie ein. Ein *Vorsorgerecht* (Risikominimierungsrecht) kann es geben; da beim Risiko die Gefahrenschwelle unerreicht bleibt, ist die Gefahrenschwelle deshalb die Grenze des Bereichs, den der Gesetzgeber regeln kann, aber nicht muß; ob bei Vorliegen eines Risikos im Einzelfall der Staat eine vorsorgende (risikominimierende) Maßnahme ergreift, ist ein Problem der gesetzlichen Ausgestaltung. Eine Pflicht zur Regelung des *Restrisikos* existiert nicht; demzufolge fehlt es auch an einem Gebot, Maßnahmen zur Ausschaltung des Restrisikos zu ergreifen.

Der Gefahr ordne ich nach alledem eine Rechtspflicht des Gesetzgebers zum Handeln zu, dem Risiko eine Möglichkeit des Gesetzgebers zum Handeln, im Falle des Restrisikos ist gesetzgeberisches Unterlassen rechtmäßig.

Diese Zuordnung der Rechtspflichten basiert auf folgende rechtlichen Erwägungen: Wie dargelegt, hat der moderne Staat die Aufgabe übernommen und legitimiert sich aus der Erfüllung der Aufgabe, für die Sicherheit der Bürger zu sorgen; es ist deshalb selbstverständlich, daß der Staat ein Sicherheitsrecht erlassen muß. Mit Blick auf das Risiko fehlt eine generelle verfassungsrechtliche Aussage, die den Staat verpflichtet, ein Risikorecht zu erlassen; grundrechtlich ableitbare Schutzpflichten mögen zwar auch den Risikobereich betreffen, verpflichten aber regelmäßig nicht zu einer Reaktion des Gesetzgebers; ob, speziell mit Blick auf den Umweltschutz, Art. 20a GG die Pflicht zum Erlaß eines Risikominimierungsrechts enthält, ist bestritten, läßt sich aber meines Erachtens nicht bejahen. Für das Restrisiko ist auf die Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts zu verweisen: In der Kalkar-Entscheidung (BVerfGE 49, 89 ff.) hat es festgestellt: „Vom Gesetzgeber im Hinblick auf seine Schutzpflicht eine Regelung zu fordern, die mit absoluter Sicherheit Grundrechtsgefährdungen ausschließt, die aus der Zulassung technischer Anlagen und ihrem Betrieb möglicherweise entstehen können, hieße die Grenzen menschlichen Erkenntnisvermögens verkennen und würde weithin jede staatliche Zulassung der Nutzung der Technik verbannen. Für die Gestaltung der Sozialordnung muß es insoweit bei Abschätzungen praktischer Vernunft bewenden. Ungewißheiten jenseits dieser Schwelle praktischer Vernunft sind unentrinnbar und insoweit als sozial adäquate Lasten von allen Bürgern zu tragen.“ Diese Entscheidung präsentiert auch noch heute den Stand der Erkenntnis der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts.

3. Es ist darauf hinzuweisen, daß in unserem Zusammenhang in jüngerer Zeit z. B. der Begriff „Besorgnis“ Verwendung findet. In den Text des Wasserrechts hat er Eingang gefunden, z. B. in §§ 26 Abs. 2 Satz 1, 32b Abs. 2 Satz 1 WHG. Von einer Besorgnis ist zu sprechen, wenn jenseits einer Gefahr i. S. des Polizeirechts die Möglichkeit eines Schadenseintritts nach den gegebenen Umständen und im Rahmen einer sachlich vertretbaren, auf konkreten Feststellungen beruhenden Prognose nicht von der Hand zu weisen ist (BVerwG, ZfW 1981, 89). Besorgnis ist mithin eine Teilmenge der Menge Risiko, welche das Wasserrecht als Basis für rechtliche Maßnahmen akzeptiert. Generell ist aber nicht festzustellen, daß der Begriff rechtlich bedeutungsvoll ist. Die „Besorgnis“ ist deshalb als rechtlich relevanter Begriff nicht weiter zu beachten. Sie kann insbesondere nicht im Umfeld des sogenannten Elektroskogs als Kategorie, mit dessen Hilfe bestimmte Anlagen untersagt werden könnten, Verwendung finden.

4. Zum Abschluß dieses Teils meiner Ausführungen ist der Begriff „öffentliche Sicherheit“ zu bestimmen; er fand in allen drei obigen Definitionen Verwendung. „Öffentliche Sicherheit ist die Unversehrtheit von Leben, Gesundheit, Freiheit, Ehre und Vermögen des einzelnen sowie der Bestand und das Funktionieren des Staates und seiner Einrichtungen“. Ein Schaden ist eingetreten, wenn die Unversehrtheit nicht mehr gegeben ist. - Mit Blick auf den Schutz von Gemeinschaftsgütern ergibt sich als überaus wichtige Konsequenz der Schutz der gesamten Rechtsordnung, ohne deren prinzipielle Beachtung Bestand und Funktionsfähigkeit des Staates und seiner Einrichtungen nicht gewährleistet werden könnte. Eine Verletzung von Rechtsnormen stellt deshalb einen Schaden für die öffentliche Sicherheit dar.

### III.

1. Nach der Definition der hier relevanten drei Begriffe sind mit ihnen verbundene Probleme zu klären. Vorab ist darauf hinzuweisen, daß die Begriffe Gefahr und Risiko sogenannte „Eingriffsschwellen“ bezeichnen; bei ihrem Vorliegen darf der Staat Gefahren abwehrende oder das Risiko minimierende Maßnahmen ergreifen. Beide Maßnahmen dienen der Prävention. Ein Schaden für ein Rechtsgut soll verhindert werden.

Mit Blick auf den Begriff der Gefahr ist zunächst zu erörtern, auf welchem Wege der das Gesetz vollziehende Beamte zu der rechtmäßigen Einschätzung kommt, daß eine Gefahr vorliegt. Es gibt zwei Möglichkeiten – beide knüpfen an den Umstand an, daß das Gesetz wegen der Nutzung sogenannter unbestimmter Rechtsbegriffe konkretisierungsbedürftig ist.

Die erste Möglichkeit besteht darin, daß der Beamte die Konkretisierung eigenständig auf der Basis seiner in der konkreten Situation vorhandener Erkenntnisse vornimmt; dieses ist regelmäßig der Fall bei dem Ergreifen von Maßnahmen auf der Basis der allgemeinen Polizeigesetze. Die zweite Möglichkeit besteht darin, daß eine staatliche Stelle oder eine staatlich anerkannte Stelle in geeigneten Fällen sogenannte Werte festlegt, deren Überschreiten eine Gefahr oder ein Risiko darstellen; der zweite Fall ist im Umwelt- und Technikrecht häufig anzutreffen.

2. Ich wende mich zunächst dem *ersten Fall* zu.

a. *Gefahrenabwehr*: Die Gefahr setzt voraus, daß tatsächlich oder zumindest bei auf den Zeitpunkt des Handels der Polizei- und Ordnungsbehörden abstellender Betrachtungsweise bei verständiger Würdigung der Sach- und Rechtslage eine hinreichende Wahrscheinlichkeit für einen Schadenseintritt spricht. Die Polizei hat ein prognostisches Urteil zu fällen, das in vollem Umfang gerichtlich überprüft werden kann. Für die Rechtmäßigkeit der Prognose ist von wesentlicher Bedeutung, welchem Rechtsgut Schaden droht. Je bedeutsamer und höherwertig dieses Rechtsgut ist, um so geringere Anforderungen sind an die Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts zu stellen. Es gilt die sogenannte „Je-Desto-Formel“. So braucht z. B. bei drohendem Schaden für Leib und Leben nicht ein gleich hoher Wahrscheinlichkeitsgrad für den Eintritt eines Schadens zu bestehen, wie dort, wo es sich (nur) um die Gefährdung unbedeutender Vermögenswerte handelt. Von Relevanz für das Urteil über das Vorliegen einer Gefahr ist ferner der Zeitraum, der der Polizei bei der Einschätzung der Möglichkeit eines Schadenseintritts zur Verfügung steht. Drohen durch einen möglicherweise unmittelbar bevorstehenden Eintritt eines Schadens vollendete Tatsachen (irreparable Schäden) hervorgerufen zu werden, so genügt auch hier bereits die geringere Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts für die Bejahung der Gefahr. Ohne Bedeutung für das Vorliegen einer Gefahr ist hingegen das Maß der Beeinträchtigung, welches sich aus einer polizeilichen Maßnahme für den hierdurch Belasteten ergeben würde; es wird nur in Verbindung mit dem Verhältnismäßigkeitsgrundsatz sowie als ermessensleitender Gesichtspunkt beachtlich.

In Spezialnormen wird z. T. für die Vornahme bestimmter Maßnahmen eine qualifizierte Gefahr gefordert. So spricht etwa Art. 13 IV und VII GG von „dringenden Gefahren“ und verlangt damit eine erhöhte Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts. „Unmittelbare“ Gefähr-

dung (§ 15 I VersG) und „gegenwärtige Gefahr“ (vgl. hierzu die Legaldefinition in § 2 Nr. 16 NGefAG; § 3 Nr. 3 SachsAnhSOG; § 54 Nr. 3b ThürPOG) markieren eine besondere zeitliche Nähe der Gefahrenverwirklichung. Die als Voraussetzung für ein polizeiliches Einschreiten gegen den sog. Nichtstörer vielfach postulierte „erhebliche Gefahr“ knüpft an die Schwere der potentiellen Rechtsgutverletzung an; notwendig ist damit eine Gefahr für ein bedeutendes Rechtsgut (s. auch § 7 I Nr. 1 BrandPolG; § 2 Nr. 1c NGefAG; § 7 Nr. 1 RhPfPOG; § 3 Nr. 3 c SachsAnhSOG; § 10 I Nr. 1 ThürPAG und § 54 Nr. 3 c ThürOBG). Eine „gemeine Gefahr“ (s. z. B. Art. 13 IV und VII GG) liegt vor, wenn ein Schaden für eine unbestimmte Vielzahl von Personen oder erhebliche Sachwerte droht. Von „Gefahr im Verzug“ (vgl. z. B. § 20 I 1 MEPolG; § 2 V BerlASOG; § 39 I HessSOG; § 20 I 1 SaarPolG; § 54 Nr. 5 ThürOBG) wird dort gesprochen, wo zur Verhinderung eines Schadens sofort eingegriffen werden muß und ein Abwarten (etwa bis zum Handeln der sonst prinzipiell zuständigen Behörde) die Effektivität der Gefahrenbekämpfung in Frage stellte oder jedenfalls einschränkte.

Für das Vorliegen einer Gefahr ist es weiter erforderlich, daß die Wahrscheinlichkeit eines Schadenseintritts in naher Zukunft besteht, nicht hingegen erst zu irgendeinem noch in der Ferne liegenden späteren Zeitpunkt. Keine konkrete Gefahr liegt deshalb vor, wenn z. B. ein Emissionen verursachender Betrieb erst dann zukünftig Schaden hervorrufen könnte, wenn auf den benachbarten Grundstücken bauliche Veränderungen vorgenommen werden, indem dort z. B. Wohnbebauung zugelassen wird.

Lebhaft umstritten ist, unter welchen Voraussetzungen auch dann von einer Gefahr gesprochen werden kann (und damit ein polizeiliches Einschreiten möglich ist), wenn sich nachträglich, d.h. bei einer Betrachtung ex post, herausstellt, daß entgegen der ex-ante-Prognose der Polizei- und Ordnungsbehörde Schaden tatsächlich nicht gedroht hat. Gefahrenabwehr verlangt von der Behörde immer eine Prognoseentscheidung; diese ist aber notwendigerweise von der Ungewißheit des Schadenseintritts geprägt und es wäre widersprüchlich, die Richtigkeit der polizeilichen Gefahrprognose, die notwendigerweise ex ante erfolgen muß, anhand der Erkenntnisse ex post in Frage zu stellen. Andererseits darf nicht jede subjektive Vorstellung der Behörde als ausreichend für das Bejahen einer Gefahr angesehen werden; es gibt keinen „subjektiven Gefahrbegriff“. Abzustellen ist deshalb nicht auf den konkret Handelnden, sondern darauf, wie ein gewissenhafter, besonnener und sachkundiger Amtswalter die Lage zum Zeitpunkt des polizeilichen Handelns eingeschätzt hätte. Wenn ein solcher „objektiver“ Beamter eine Gefahr nicht angenommen hätte, die tätig gewordene Polizei- und Ordnungsbehörde aber subjektiv vom Vorliegen einer Gefahr ausgegangen ist, spricht man von einer „*Schein- oder Putativgefahr*“. Hier kann ein Handeln nach unbestrittener Auffassung nicht auf die Polizeigesetze gestützt werden, die Scheingefahr ist also keine Gefahr.

Könnte der handelnde Polizeibeamte aber bei verständiger Würdigung zum Zeitpunkt seines Handelns vom Vorliegen einer Gefahr ausgehen, schadet es nicht, wenn sich bei einer Betrachtung ex post herausstellt, daß in Wirklichkeit ein Schaden nicht drohte. Diese Konstellationen sind gemeint, wenn man von einer *Anscheinsgefahr* spricht. Die Anscheinsgefahr ist nach dem Gesagten eine echte Gefahr, d.h. sie läßt sich ohne Schwierigkeiten dem oben vorgestellten Gefahrenbegriff subsumieren. Aus der Sicht ex ante besteht bei verständiger Würdigung der Sachlage die Möglichkeit eines Schadenseintritts.



Zweifelhaft ist es, welche Bedeutung dem vom Gesetzgeber nicht gebrauchten, aber vielfach in der Literatur vorgeschlagenen Begriff des Gefahrenverdachts zukommt. Von Gefahrenverdacht wird dann gesprochen, wenn die Behörde über Anhaltspunkte verfügt, die auf eine Gefahr hindeuten, sie sich aber bewußt ist, daß ihre Erkenntnis unvollständig ist und eine Gefahr daher möglicherweise nicht vorliegt. Da die Entscheidung über das Vorliegen einer Gefahr aber immer ein Wahrscheinlichkeitsurteil beinhaltet, ist mit einem derart weit verstandenen Begriff nichts gewonnen. Er verwirrt nur, indem er Gemeinsamkeiten von Konstellationen herausstellt, die rechtlich gerade unterschiedlich zu bewerten sind:

Reicht die Wahrscheinlichkeit, um insbesondere bei höherrangigen Rechtsgütern eine Gefahr zu bejahen, ist der Begriff des Gefahrenverdachts überflüssig. Es liegt dann eine Gefahr bzw. Anscheinsgefahr vor und die Polizei kann aufgrund der polizeigesetzlichen Ermächtigungen tätig werden. Dies gilt gerade im Bereich des Umweltschutzrechts (insbesondere den Altlastenfällen), für die der Begriff entwickelt wurde. Hier drohen häufig große Schäden für hochrangige Rechtsgüter wie Leben und Gesundheit, so daß geringere Anforderungen an die Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts zu stellen sind.

Reicht die Wahrscheinlichkeit dagegen nicht, um vom Vorliegen einer Gefahr ausgehen zu können, stellt sich die Frage, ob die Polizei- und Ordnungsbehörden auch dann tätig werden können (und vielleicht sogar müssen), wenn die Erkenntnisse der Behörde es bei verständiger Würdigung noch nicht rechtfertigen, vom Vorliegen einer Gefahr auszugehen. Es geht dann um eine weitere, für die behördliche Entscheidung über das Vorliegen einer Gefahr erforderliche Sachverhaltsaufklärung und um die Frage, inwieweit der Behörde zu diesem Zweck *Gefahrerforschungseingriffe* möglich sind.

Unter Gefahrerforschungseingriffen sind solche vorläufigen Maßnahmen zu verstehen, die nicht unmittelbar der Gefahrenbeseitigung dienen, sondern der weiteren Erforschung des Sachverhalts und der Vorbereitung von endgültigen Abwehrmaßnahmen. Beispiele hierfür sind Probebohrungen und Messungen, die der Aufklärung dienen sollen, ob von einem bestimmten Grundstück Gefahren für die Umwelt ausgehen. Ihre rechtliche Beurteilung hängt allein davon ab, ob eine Gefahr zu bejahen ist oder nicht.

Liegt eine polizeirechtlich relevante Gefahr (einschließlich der Fälle der Anscheinsgefahr) vor, ist der Gefahrerforschungseingriff von den polizeirechtlichen Ermächtigungsgrundlagen gedeckt, selbst wenn sich aufgrund der Ergebnisse des Gefahrerforschungseingriffs (also bei der Bestimmung ex post) ergeben sollte, daß ein Schaden tatsächlich nicht gedroht hat. Unter Umständen kann sich hier sogar eine Pflicht der Polizei zur Beschränkung auf Gefahrerforschungsmaßnahmen daraus ergeben, daß unter dem Aspekt des Übermaßverbots (Grundsatz des geringsten Eingriffs) zunächst einmal aufzuklären ist, ob wirklich ein Schaden droht und der Polizei etwa wegen der Schwere des damit verbundenen (und damit im Ergebnis unverhältnismäßigen) Eingriffs endgültige Maßnahmen verwehrt sind. Lagern beispielsweise auf einem Grundstück Fässer, deren Beschriftung auf gefährlichen Giftmüll hindeutet, sind sie aber noch nicht durchgerostet, ist es zunächst geboten, dem Inhaber die Untersuchung des Inhalts aufzugeben, bevor er zur Entsorgung auf einer Sondermülldeponie verpflichtet werden kann.

Die umstrittenen und viel diskutierten Fälle von Gefahrerforschungseingriffen betreffen hingegen die Frage, inwieweit die Polizei auch dann tätig werden darf, wenn eine

hinreichende Wahrscheinlichkeit eines Schadenseintritts und damit eine Gefahr nicht besteht und eine Generalermächtigung folglich nicht eingreift. Gefahrerforschungsmaßnahmen ohne Eingriffe in Rechtspositionen des Betroffenen sind Aufgaben der Gefahrenabwehr und vom Untersuchungsgrundsatz (§ 24 VwVfG) gedeckt. Für Eingriffe in Rechtspositionen des Betroffenen ist aber aufgrund des Vorbehalts des Gesetzes (Art. 20 III GG) und den grundrechtlichen Gesetzesvorbehalten eine Eingriffsgrundlage erforderlich. Die Auffassung, die insoweit auf eine in den Generalermächtigungen stillschweigend mitgeschriebene Gefahrerforschungsbefugnis verweist, beachtet nicht ausreichend, daß die entsprechenden Vorschriften in der Regel (insbesondere in den polizeilichen Ermächtigungsnormen) ein mit Rechtseingriffen verbundenes Einschreiten vom Vorliegen einer konkreten Gefahr abhängig machen und auch die Vorschriften über die Adressaten polizeilichen Handelns bei der Inanspruchnahme des Störers eine unmittelbare Verursachung einer konkreten Gefahr (s. z.B. §§ 6, 7 BWPoIG,) oder bei Inanspruchnahme eines Nichtstörers sogar eine qualifizierte konkrete Gefahr (s. z.B. § 9 BWPoIG) fordern. Diese Vorschriften können sinnvollerweise nur als abschließende Regelung verstanden werden und schließen den Rückgriff auf eine paragesetzliche Ermächtigung zu Gefahrerforschungseingriffen unterhalb der Schwelle einer konkreten Gefahr aus.

Diesen Teil meiner Ausführungen zusammenfassend darf ich feststellen: Die Antwort auf die Frage, ob eine Gefahr vorliegt, erfordert eine Prognose. Es geht um die hinreichende Wahrscheinlichkeit eines Schadenseintritts. Je bedeutender das Rechtsgut, desto geringer die Wahrscheinlichkeit eines Schadenseintritts. Ferner ist für die Rechtmäßigkeit der Prognose der Zeitraum relevant, der für die Erstellung der Prognose zur Verfügung steht. Schließlich ist bedeutungsvoll, wann der Schadenseintritt bevorsteht. In dem Merkmal der hinreichenden Wahrscheinlichkeit werden vereinigt ein kognitives und ein normatives Element: Kognitives Element ist die Vorhersage eines Schadens auf Grund eines Ursache-/Wirkungszusammenhangs. Stützen kann sich diese Vorhersage sowohl auf die allgemeine Lebenserfahrung als auch auf wissenschaftliche Erfahrungssätze. Normatives Element ist die Abwägung, ob eine hinreichende Schadenswahrscheinlichkeit besteht. Beeinflußt wird diese Abwägung durch das Ausmaß des vorhergesagten Schadens und den Rang des geschützten Rechtsguts. Bei alledem ist abzustellen darauf, wie ein besonnener Beamter die Lage vor Ergreifen der gefahrenabwehrenden Maßnahme eingeschätzt hätte. Die Anscheinsgefahr und der Gefahrerforschungseingriff werden von der Gefahr erfaßt; die potentielle Gefahren erforschende Maßnahme läßt sich dann nicht mehr auf das Polizeigesetz stützen, wenn von vornherein eine konkrete Gefahr fehlt.

b. *Risikovorsorge*: Dieser Teil meiner Ausführungen betraf die Gefahrenabwehr. Jetzt einiges zur Risikovorsorge. Kennzeichnend für die Risikovorsorge ist, daß Risiko minimierende Maßnahmen auch dann verlangt werden, wenn eine Schadensprognose nicht mit der gefahrdogmatisch erforderlichen Beurteilungssicherheit gegeben werden kann. Die Gefahrenvorsorge erfaßt demnach insbesondere zwei Fallkonstellationen: 1. Fälle nur unzulänglich aufklärbarer Kausalitätsbeziehung (z.B. Spätschäden oder multifaktoriell bedingte Schäden), in denen eine Schadensprognose nicht oder nur unzulänglich erstellt werden kann; 2. Fälle, in denen erhebliche Beeinträchtigungen des geschützten Rechtsguts zwar nicht zu befürchten sind (z. B. Belästigungen), Maßnahmen aber gleichwohl verlangt



werden, um längerfristig einen bestimmten Qualitätsstandards zu erreichen oder einen angemessenen Abstand zur Schädlichkeitsschwelle zu wahren.

Diese beiden Fälle anders formuliert – mit Blick auf die Schäden – ergeben folgende drei *Vorsorgetypen*: 1. auch zeitlich und räumlich entfernte Gefahren, 2. Fälle geringerer Eintrittswahrscheinlichkeit bis hin zum bloßen Gefahrenverdacht, 3. Umweltbelastungen, die für sich genommen ungefährlich, aber insgesamt (inkremental) schädlich und technisch vermeidbar sind. Diese drei Fälle, die eine „Noch-Nicht-Gefahr“ beinhalten, bilden den Inhalt des umweltrechtlichen Vorsorgeprinzips, verstanden in seiner sicherheitsrechtlichen Variante, im Gegensatz zu einer bewirtschaftungsrechtlichen Variante im Sinne einer Ressourcenvorsorge.

In den drei Fällen zeigt sich zum einen die langfristige Perspektive der Risikovorsorge. Ferner bringt die Risikovorsorge zum Ausdruck, daß es bei einem bloßen Gefahrenverdacht legitim ist, zu handeln; staatliches Handeln ist auch unter Ungewißheit grundsätzlich legitim; die Risikovorsorge nähert sich damit dem Vorsichtsprinzip. Schließlich beinhaltet die Möglichkeit der Minimierung von Umweltbelastungen die Aussage, daß technisch vermeidbare Emissionen nicht in die Umwelt gelangen dürfen; technische Standards zur Emissionsminimierung werden in rechtliche Forderungen umgesetzt.

c. *Konsequenzen*: Aus diesen Befunden sind drei Konsequenzen zu ziehen: 1. Das Vorliegen einer Gefahr im Rechtssinne ist stets abhängig von der Antwort auf eine Vielzahl von Einzelfragen. Die auf der oben erwähnten Skala abzusteckende „Strecke“, die den Bereich der Gefahr darstellt, ist nicht generell bestimmbar, sondern lediglich im Einzelfall bestimmt. Die Rechtmäßigkeit eines polizeilichen Eingriffs sowie der angeordneten Maßnahme ist ein Einzelfallproblem. Endgültig entscheidet der Richter. Bis dieser gesprochen hat, herrscht für alle Beteiligten Ungewißheit über die Antwort. 2. Da das Vorliegen einer Gefahr eine Einzelfallfrage ist, ist auch die Bestimmung des Risikos im Einzelfall ein Einzelfallproblem. Nur dann, wenn es an einer Gefahr fehlt, liegt ein Risiko des Schadenseintritts vor, es sei denn, es handelt sich um eine Restrisiko. 3. Für eine Person, die etwas potentiell gefährliches tut, besteht unter diesen Bedingungen immer die Ungewißheit, ob sie gefahrenabwehrende Maßnahmen oder im Falle ihrer rechtlichen Zulässigkeit risikominimierende Maßnahmen auf sich zieht. Unter dieser Prämisse ist z. B. wirtschaftlich verantwortungsvolles Handeln ausgeschlossen, weil der Investor sich niemals sicher sein kann, ob das Investment sich lohnt. Das Gleiche gilt für die Forscher im Bereich der Naturwissenschaften und der Technik; sie müssen immer damit rechnen, daß mit Hilfe einer gefahrenabwehrenden Maßnahme ihre Forschung unterbunden wird. Die Freiheit der Forschung nach Art. 5 Abs. 3 GG ist durch das Recht der Gefahrenabwehr eingeschränkt.

Diese beiden beispielhaft erwähnten Personengruppen benötigen einen rechtlichen Rahmen, dessen Einhaltung ihr Handeln rechtmäßig sein läßt.

3. Das zuletzt genannte Problem hat der Gesetzgeber gesehen und deshalb bestimmte Bereiche in der Weise geregelt, daß die mit der Gefahr- bzw. Risikoprognose verbundene Unsicherheit entfällt; es handelt sich um den oben erwähnten *zweiten Fall*.

a. *Gefahrenabwehr*: Der Sache nach wird die Vorhersage einer Gefahr, die sich auf die allgemeine Lebenserfahrung stützt, durch eine auf wissenschaftliche Erfahrungssätze ba-

sierende Vorhersage ersetzt, die in Rechtsnormen Eingang gefunden hat. Dieses demonstriere ich an drei Beispielsfällen.

aa. Das Bundes-Immissionsschutzgesetz: Dieses Gesetz schützt mit Blick auf bestimmte Anlagen – der Begriff wird definiert – bestimmte Schutzgüter: Menschen, Tiere, Pflanzen usw. vor schädlichen Umwelteinwirkungen – der Begriff wird definiert – und vor sonstigen Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen – diese Begriffe werden nicht definiert. Der Betreiber einer dem Gesetz unterfallenden Anlage muß, um den Zweck des Gesetzes zu erfüllen, bestimmte Betreiberpflichten einhalten. Diese hat das Gesetz genau festgelegt; damit ist der Betreiber von der Unsicherheit befreit, das mit einer eigenständigen Festlegung verbundene Problem des potentiellen behördlichen Einschreitens selbst lösen zu müssen.

Die gesetzliche Lösung sieht wie folgt aus: Nach § 5 Abs. 1 BImSchG muß der Betreiber einer genehmigungsbedürftigen Anlage diese so errichten und betreiben, daß vier Betreiberpflichten eingehalten werden. Die erste Betreiberpflicht betrifft die sog. Schutzpflicht; der Sache nach bestimmt sie die Gefahrenabwehr. Der Betreiber hat sicherzustellen, daß schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können.

Diese Pflicht enthält unbestimmte Rechtsbegriffe, die zu definieren sind. Nach § 3 Abs. 1 sind schädliche Umwelteinwirkungen Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. Immissionen sind nach Abs. 2 auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen. Luftverunreinigungen sind nach Abs. 4 Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe. – Sonstige Gefahren sind z. B. die Explosion- oder die Brandgefahr sowie die Grundwassergefährdung. – Sonstige Nachteile sind Beeinträchtigungen, die nicht als Schaden oder Belästigung qualifiziert werden; Objekte des Nachteilsbegriffs sind Tiere, Pflanzen, sonstige Sachgüter, das Vermögen und geschützte immaterielle Werte. – Belästigungen sind hinreichend bedeutsame Beeinträchtigungen des körperlichen oder seelischen Wohlbefindens des Menschen unterhalb der Schwelle der Gesundheitsgefahr. – Die Nachteile und Belästigungen sind erheblich, wenn sie in differenzierender und zugleich typisierender Betrachtungsweise das Empfinden eines normalen Durchschnittsmenschen in vergleichbarer Lage stören.

Diese Definitionen bergen immer noch Verständnisprobleme und erzeugen Unsicherheiten. Deshalb hat der Gesetzgeber in § 48 BImSchG die Bundesregierung ermächtigt, Immissionswerte, die zu dem in § 1 genannten Zweck nicht überschritten werden dürfen, zu erlassen. Diese Verwaltungsvorschriften sind die TA-Luft und die TA-Lärm.

Nach § 5 Abs. 1 Satz 1 BImSchG in Verbindung mit der TA-Luft wird die Gefahrenschwelle mit Blick auf die schädlichen Umwelteinwirkungen nicht anlagenbezogen durch Emissionshöchstwerte, sondern durch die voraussichtlichen Immissionen im Wirkungsbereich der Anlage bestimmt. Die Genehmigung für die Errichtung und den Be-

trieb der Anlage ist zu versagen, wenn die in der TA-Luft festgelegten Werte nicht eingehalten werden können: Auf diese Weise wird der Gefahr begegnet, ein Schaden wird verhindert.

Dieses Konzept der Festlegung von Werten, die die Gefahrenschwelle beschreiben, greift nur insoweit, wie die TA-Luft Anwendung findet und wie sie selbst Grenzwerte enthält. Nach ihrer Nr. 1 dient sie dem Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen. Sie greift deshalb nicht bei sonstigen erheblichen Gefahren Nachteilen und Belästigungen. Sie regelt auch nicht sämtliche Fälle der Luftverunreinigung. Beispielhaft sei insoweit darauf hingewiesen, daß Regelungen für Geruchsstoffe fehlen. In der Praxis bildet gerade dieser Fall ein erhebliches Problem: Die aufdringliche Süßlichkeit von Geruchsstoffen aus einer Tortenbäckerei kann für die Nachbarn nervtötend sein.

Mit Blick auf die erheblichen Nachteile und Belästigungen ist darauf hinzuweisen, daß die Gefahrenabwehr nach Nr. 1 nicht nur Gefahren im Sinne der Definition des Polizeirechts erfaßt, sondern auch in dem Vorfeld befindliche Risiken. Das Gesetz ist deshalb mit Blick auf eine in sich stimmige Verwendung des Gefahrenbegriffs nicht konsequent.

bb. Das Gerätesicherheitsgesetz: Nach diesem Gesetz dürfen technische Arbeitsmittel nur dann in den Verkehr gebracht werden, wenn sie bestimmten Sicherheitskriterien genügen; diese Sicherheitskriterien konkretisieren die Gefahrenschwelle. Das Gesetz bestimmt die Gefahrenschwelle nicht selbst; es normiert ausdrücklich nicht spezielle Sicherheitsmaßstäbe, sondern verweist auf anderenorts zu erarbeitende oder erarbeitete.

Nach § 3 Abs. 1 Satz 1 GSG müssen insgesamt drei Voraussetzungen erfüllt sein, damit ein technisches Arbeitsmittel in den Verkehr gebracht werden darf: 1. In Rechtsverordnungen festgelegte Sicherheitsanforderungen müssen erfüllt sein; 2. in Rechtsverordnungen festgelegte sonstige Anforderungen müssen erfüllt sein; 3. bei bestimmungsgemäßer Verwendung dürfen Leben, Gesundheit und sonstige in der Rechtsverordnung aufgeführte Rechtsgüter sowohl der Benutzer des Geräts als auch Dritter nicht gefährdet sein.

Die Sicherheitsanforderungen sind leider nicht problemlos den Rechtsverordnungen zu entnehmen. Beispielhaft sei verwiesen auf die 4. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz - Schutzaufbautenverordnung - vom 18. Mai 1990. § 2 formuliert folgende Sicherheitsanforderungen: (1) Der Hersteller oder Einführer darf die in § 1 genannten Baumaschinen gewerbsmäßig oder selbständig im Rahmen einer wirtschaftlichen Unternehmung nur in Verkehr bringen oder ausstellen, wenn 1. sie mit einem Überrollschutzaufbau ausgerüstet sind, 2. der Überrollschutzaufbau a) der Richtlinie 86/295 EWG des Rates vom 26. Mai 1986 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Überrollschutzaufbauten (ROPS) bestimmter Baumaschinen (ABL. EG Nr. L 186 S. 1) entspricht und b) hierfür eine EWG-Baumusterprüfbescheinigung nach Anhang V der Richtlinie vorliegt und 3. sie mit einem Schutzaufbau gegen herabfallende Gegenstände, der den Voraussetzungen des Absatzes 2 entspricht, ausgerüstet werden können. (2) Der Hersteller oder Einführer darf Schutzaufbauten gegen herabfallende Gegenstände für die in § 1 genannten Baumaschinen gewerbsmäßig oder selbständig im Rahmen einer wirtschaftlichen Unternehmung nur in Verkehr bringen oder ausstellen, wenn sie 1. der Richtlinie 86/296 EWG des Rates vom 26. Mai 1986 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Schutzaufbauten gegen herabfallende Gegenstände (FOPS) be-

stimmter Baumaschinen (ABL. EG Nr. L 186 S. 10) entsprechen und 2. hierfür eine EWG-Baumusterprüfbescheinigung nach Anhang V der Richtlinie vorliegt.

Es reicht also nicht, die Rechtsverordnung zu lesen, um die Sicherheitsanforderungen zu erkennen. Zusätzlich ist ein Blick in das EG-Recht notwendig, auf welches die Rechtsverordnung Bezug nimmt.

Nach § 3 Abs. 1 Satz 2 GSG ist ein technisches Arbeitsmittel dann ungefährlich, wenn es den allgemein anerkannten Regeln der Technik, den Arbeitsschutz- und den Unfallverhütungsvorschriften entspricht. Hier stellt sich die Frage, was unter „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ zu verstehen ist. Die ganz herrschende Meinung sieht in ihnen eine Verweisung auf die herrschenden Anschauungen unter den Praktikern des jeweiligen Technikbereichs; nicht auf die objektive Richtigkeit einer technischen Regel, sondern auf die Bekanntheit und Akzeptanz in den Kreisen der Fachleute kommt es an; diese müssen der Auffassung sein, mit der Anwendung der Regel werde das Sicherheitsbedürfnis angemessen befriedigt. Demnach kommt es auf folgendes an: Maßgeblich sind die Fachleute, die die Regel anwenden; die Regel muß nach ihrer überwiegenden Überzeugung anerkannt sein; die Regel muß sich in der Praxis bewährt haben. Regelmäßig sind solche allgemein anerkannten Regeln niedergelegt in DIN-Normen, Normblättern, Richtlinien, Merkblättern usw. der privaten Normungsvereinigungen wie z. B. dem Normenausschuß, dem Verband Deutscher Elektrotechniker, dem Deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern, dem Verein Deutscher Ingenieure und der Vereinigung der Technischen Überwachungsvereine. Es handelt sich bei diesem Verweis um eine Technik Klausel; weitere Technik Klauseln bestimmen als Standard den „Stand der Technik“ sowie den „Stand von Wissenschaft und Technik“.

Arbeitsschutzvorschriften finden sich in Verordnungen, die auf die §§ 120 e, 139 h GewO gestützt sind; Unfallverhütungsvorschriften werden nach § 15 SGB VII erlassen.

Die Gesetzestechnik nach Satz 2 besteht zunächst darin, auf private Festlegungen Bezug zu nehmen; dieses ist verfassungsrechtlich erlaubt. Das Gleiche gilt für die Verweise auf Rechtsverordnungen – also auf Legislativakte – und die Unfallverhütungsvorschriften als autonomes Recht der Unfallversicherungsträger.

cc. Kreislaufwirtschafts- und Abfallrecht: Nach § 11 Abs. 1 KrW-/AbfG sind die Erzeuger von Abfällen, die nicht verwertet werden, unter bestimmten Umständen verpflichtet, sie zu beseitigen. Die Beseitigung umfaßt die Ablagerung von Abfällen. Die Abfallbeseitigung ist in § 10 Abs. 4 geregelt; es darf insbesondere bei der Abfallbeseitigung die Gesundheit der Menschen nicht beeinträchtigt, Tiere und Pflanzen nicht gefährdet sowie Gewässer und Boden nicht schädlich beeinflusst werden. Diese unbestimmten Rechtsbegriffe sind für den Betreiber einer Deponie nur schwer zu handhaben. Um ihm Rechtssicherheit zu geben und ferner um die Umwelt zu schützen, hat der Gesetzgeber zwei einschlägige Abfallverwaltungsvorschriften zum Abfallgesetz erlassen. Gestützt sind diese Verwaltungsvorschriften auf § 12 Abs. 2. Bei diesen Verwaltungsvorschriften handelt es sich um die TA-Abfall und um die TA-Siedlungsabfall. Letzere ist von großer praktischer Bedeutung und inhaltlich außerordentlich umstritten, weil sie die Einhaltung bestimmter ideologisch umkämpfter Daten vorschreibt.

dd. Zusammenfassung: Es läßt sich nach alledem feststellen, daß in Spezialgesetzen die Gefahrenschwelle festgesetzt wird durch Verweis auf Verwaltungsvorschriften und Rechtsverordnungen; durch Verweis auf Rechtsverordnungen, die ihrerseits auf EG-Recht verweisen; durch Verweis auf autonomes Recht bestimmter Behörden; durch Verweis auf Festlegungen privater Normungsorganisationen mit Hilfe von Techniklauseln. Den von diesen Normen betroffenen Personen ist also nicht damit gedient, daß sie das Bundesgesetz kennen, sondern sie benötigen weiteres Recht, um die Gefahrenschwelle zu erkennen und ihr Verhalten auf ihrer Einhaltung einzustellen.

b. *Risikovorsorge*: Sie findet nur dann statt, wenn sie gesetzlich vorgeschrieben ist. Risikominimierende Maßnahmen dürfen mit anderen Worten die Behörden nur dann ergreifen, wenn sie gesetzlich dazu ermächtigt sind. Ein Beispiel für eine solche Ermächtigung bildet die zweite Betreiberpflicht nach § 5 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG. Genehmigungsbedürftige Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, daß Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen getroffen wird, insbesondere durch die dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen zu Emissionsbegrenzung. Emissionen sind die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen; Stand der Technik ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen gesichert erscheint läßt. Die Risikovorsorge setzt an der Anlage selbst an. In welchem Umfang sie besteht, regelt die TA-Luft.

Soweit eine rechtliche Regelung der Risikovorsorge getroffen ist, ist ihr genauer Umfang in einer Verwaltungsvorschrift festgelegt.

#### IV.

Das große Problem bei der Festlegung der Werte in den Vorschriften, die ich angesprochen habe, besteht darin, „richtige Aussagen“ zu treffen. Dieses kann der Jurist nicht. Er muß sich des Sachverständs von Spezialisten bedienen. Juristen und Spezialisten sind aufeinander angewiesen, damit Gefahrenabwehr und Risikominimierung in der Praxis funktionieren. Damit dieses Funktionieren auch eintritt, müssen Juristen und Spezialisten einander verstehen. Ich hoffe, den Spezialisten verdeutlicht zu haben, was die Juristen mit den Begriffen Gefahr, Risiko und Restrisiko verbinden. Ich hoffe, damit die Basis für eine fruchtbare Diskussion geliefert zu haben.

#### Thesen

1. Die Begriffe Gefahr, Risiko und Restrisiko gehören zum Komplex des Sicherheitsrechts; Sicherheitsrecht, Polizeirecht, Ordnungsrecht sind Gefahrenabwehrrecht.
2. Die Abwehr von Gefahren für Leib und Leben der Menschen ist Staatsaufgabe.
3. Basisgesetze für die Gefahrenabwehr sind die sogenannten Polizeigesetze der Länder. Soweit für die Regelung bestimmter Sachbereiche Spezialgesetze existieren, gehen diese den Basisgesetzen vor. Ein solches Spezialgesetz ist z. B. das Bundes-Immissionsschutzgesetz; es betrifft unter anderem Anlagen.

4. In der juristischen Literatur werden die Begriffe Gefahr und Risiko in sehr unterschiedlichen Weisen verstanden und gebraucht.
5. Den Gegenbegriff von Gefahr, Risiko und Restrisiko bildet der Begriff Sicherheit – Gefahr, Risiko und Restrisiko sind deshalb Teilmengen der Gesamtmenge Unsicherheit.
6. Gefahr ist eine Sachlage, bei der im einzelnen Fall die hinreichende Wahrscheinlichkeit besteht, daß in absehbarer Zeit ein Schaden für die öffentliche Sicherheit eintreten wird. – Risiko ist die Möglichkeit eines Schadens, dessen Eintrittswahrscheinlichkeit geringer als die bei einer Gefahr ist. – Restrisiko ist die Möglichkeit eines Schadens, dessen Eintrittswahrscheinlichkeit jenseits der Schwelle praktischer Vernunft liegt.
7. Unter dem Aspekt der Reaktion des Staates korrespondiert dem Begriff der Gefahr die Gefahrenabwehr, dem Begriff des Risikos die Vorsorge.
8. Der Begriff Besorgnis spielt in diesem Zusammenhang, von wenigen Ausnahmefällen abgesehen, keine Rolle.
9. Die Antwort auf die Frage nach der Existenz einer Gefahr erfordert eine Prognose. Drei Elemente sind für die Rechtmäßigkeit einer Prognose wesentlich: die Einhaltung der „Je-Desto-Formel“, der Zeitraum für die Prognoseerstellung, der Zeitpunkt des potentiellen Schadenseintritts.
10. Die Rechtmäßigkeit einer gefahrenabwehrenden Maßnahme ist immer unsicher, das gleiche gilt für Dinge, die Personen erledigen, wenn die Dinge potentiell gefährlich sind. Diese Personen leben unter Ungewißheit, solange der Gesetzgeber nicht durch eine einer weiteren Interpretation nicht mehr zugängliche Aussage erklärt, was genau diesen Personen erlaubt ist und was nicht.
11. Durch gesetzliche Regelung ist in Einzelfällen die Frage endgültig beantwortet, ob eine Gefahr oder ein Risiko vorliegt und welche Maßnahmen zu treffen sind.
12. Das Bundes-Immissionsschutzgesetz, das Gerätesicherheitsgesetz und das Kreislaufwirtschaftsgesetz enthalten unterschiedliche Regelungstechniken zur Festlegung der Gefahrenschwelle.
13. Spezialgesetze setzen die Gefahrenschwelle fest durch Verweis auf Verwaltungsvorschriften und Rechtsverordnungen; durch Verweis auf Rechtsverordnungen, die ihrerseits auf EG-Recht verweisen; durch Verweis auf autonomes Recht bestimmter Behörden; durch Verweis auf Festlegungen privater Normungsorganisationen mit Hilfe von Techniklauseln.
14. Risikovorsorge ist durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz als Betreiberpflicht vorgeschrieben; ihr Umfang ergibt sich aus der TA-Luft.
15. Grenzwerte zur Festlegung der Gefahren- und Risikoschwelle können nicht die Juristen aus eigenen Wissen bestimmen, sondern sie benötigen die Fachkenntnisse von Experten.

---

Prof. Dr. jur. Franz-Joseph Peine  
Kurpromenade 71 B  
D - 14089 Berlin

HANNS-PETER EKARDT, Kassel

## **Risiko in Ingenieurwissenschaft und Ingenieurpraxis**

Hannover 28. Juni 1999\*

### **Gliederung:**

1. Einleitung. Risiko in Perspektive
2. Ingenieurrationalt t und technische Rationalität. Sicherheit als Aspekt der Ingenieurrationalt t
3. Objektentwurf und Sicherheitsaussagen – zwei Aspekte technischer Sicherheit
4. Sicherheitsaussagen und Sicherheitstheorie
5. Die Sachlogik der Anlagenentwicklung – Eingriffspunkte für die Sicherheitsgewährleistung
6. Technikentwicklung durch Projekte – experimentelle Praxis mit evolutionärem Risiko
7. Schlußbemerkung, Sicherheit als Praxisanspruch

### **1. Einleitung: Risiko in Perspektive**

Die öffentliche Wahrnehmung von schweren Schadensfällen, zum Beispiel des ICE-Unfalls in Eschede, gibt Anlaß zur Unterscheidung von drei Perspektiven auf technische Risiken (Abb. 1). Die erste Perspektive ist die der Betroffenen. Aus verständlichen Gründen dominiert diese Perspektive in Beiträgen von Massenmedien zu technischen Risiken. Der am 6. 5. 99 im ZDF ausgestrahlte Film zu Eschede war hierfür ein Beispiel. Er zeichnete sich positiv durch eine gute Einfühlung in die Perspektive von Angehörigen und von mit dem Leben davongekommenen Opfern aus. Insbesondere gelang es den Autoren des Films, auch die Perspektive der Bahnbenutzer *vor* dem Unglück zu rekonstruieren. Der Film schaute nicht von oben auf das Geschehen, sondern aus Augenhöhe.

Negativ fiel an dem Film auf, daß er eine zweite Perspektive ganz unzureichend einnahm, die der am Zustandekommen des Unfalls durch Handlungen und Unterlassungen Beteiligten. Ihre Persönlichkeit, ihre Motive und Interessen, die Logik ihres Handelns blieben hinter einem Schleier von Andeutungen verborgen, sie erschienen dem Betrachter des Films als Monster, die bereit waren, das Leben von Menschen dem ökonomischen Bahn-Interesse zu opfern. Es wäre zu wünschen gewesen, daß die Handlungssituation der Planer und der den Bahnbetrieb Organisierenden ebenfalls wirklichkeitsnah und nachvollziehbar geschildert worden wäre. Eine dritte Perspektive auf derartige Schadensfälle ist die technisch-wissenschaftliche, die das Geschehen in seiner technischen Verursachung und in seinem Verlauf rekonstruierende Analyse. Ein Beispiel hierfür ist der Beitrag von Knothe/

---

\* Text ist die nachträgliche Schriftfassung des freien Vortrags, gehalten beim 2. Colloquium der Kommission „Recht und Technik“ der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.



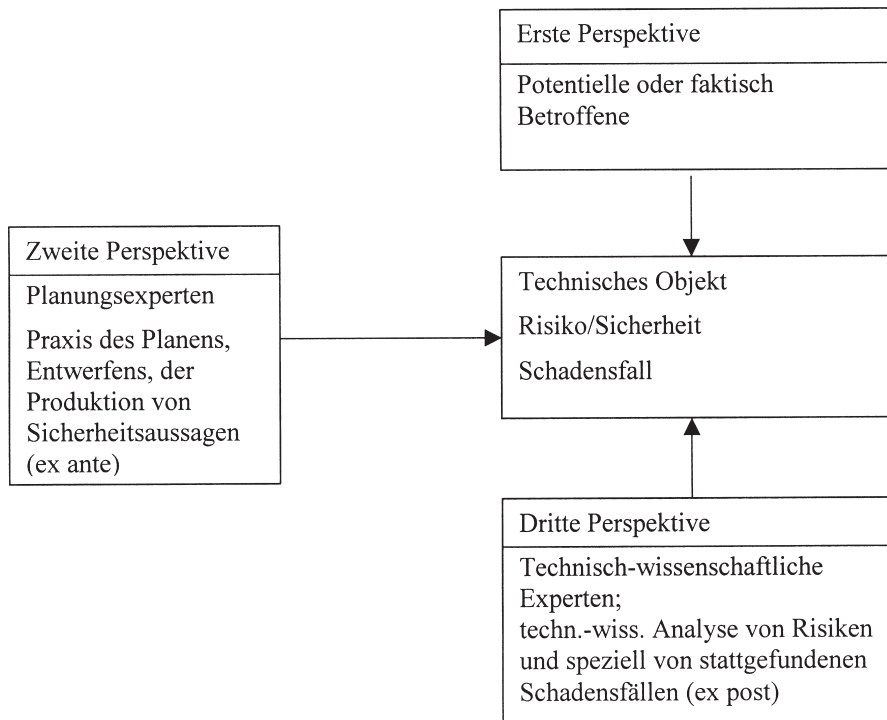


Abb.1: Drei Perspektiven auf technische Risiken und auf (stattgefundene) Schadensfälle

Böhmer (1998) zur Beanspruchung von Radreifen auf Dauerfestigkeit. Aus Analysen dieser dritten Perspektive können selbstverständlich Schlüsse für Fragen der zweiten Perspektive gezogen werden, zum Beispiel durch Organe der Justiz, jedoch nehmen sie diese Perspektive selber nicht ein und Schlußfolgerungen, Übergänge zwischen dritter und zweiter Perspektive bedürfen großer Sorgfalt, es handelt sich um Übergänge zwischen Welten, wie noch verdeutlicht werden soll.

Für eine angemessene Befassung mit Risiken der Technikentwicklung sind alle drei genannten Perspektiven von Belang, ganz gleich ob Ingenieure, Juristen oder Sozialwissenschaftler dies tun. Ingenieure, indem sie Technik entwickeln (und damit aus der zweiten Perspektive handeln), können gar nicht anders als damit Risiken zu setzen. Sie grenzen diese allerdings durch Sicherheitsstrategien ein, ihr eigener professioneller Anspruch, das Recht und auch politische Klugheit veranlassen sie hierzu. Alle drei Rücksichten schließen die Perspektive der Betroffenen ein (erste Perspektive). Die Unterscheidung von Sicherheitsklassen zum Beispiel, verbunden mit unterschiedlichen Sicherheitsbeiwerten, bedeutet faktisch eine solche Rücksicht auf Betroffene. Diese Betroffenen jedoch sind an der Technikentwicklung und an der Erzeugung und Absicherung von Risiken selber über-



haupt nicht beteiligt. Soziologen haben dieses Faktum der Trennung von Experten und Laien, von Akteuren und Betroffenen der Technikentwicklung, zum Anlaß genommen, diese mißverständlich „Risikogesellschaft“ getaufte Gesellschaft als eine zu beschreiben, die zunehmend (wieder) von Gefahren geprägt ist, nun aber von „gemachten“ und insofern legitimationsbedürftigen Gefahren zweiter Ordnung, im Unterschied zu den primären Gefahren, denen sich Menschen der Vormoderne ausgesetzt sahen (Bechmann/Wolf 1994). Die Planer unserer Eisenbahninfrastruktur setzen Risiken und fangen sie durch Sicherheitsstrategien ein (zweite Perspektive), die um ein Vielfaches größere Menge der Bahnkunden lebt unter Gefahren, für die sie aus Anlaß schwerer Schadensfälle die Planer politisch-legitimatischer haftbar machen, wie jüngst wieder im Falle Paddington (London). Die Unterscheidung von Risiko und Gefahr, so hat es Luhmann (1990) gesehen, ist also eine der Zurechnung: Das Unglück in Eschede war der Eintritt des von den Entwicklern und Betreibern des ICE riskierten Ereignisses, es war der schicksalhafte Gefahrenfall der Reisenden - es sei denn, ein Reisender hätte seiner Wahl dieser Reiseform und des speziellen Zugs ein Risiko-Kalkül zugrunde gelegt, eine wohl wirklichkeitsfremde Vorstellung. Der Begriff des Risikos, so wie wir ihn auch für die Ingenieurpraxis verwenden, setzt einen handelnden, abwägenden, kalkulierenden Akteur voraus, etwa einen Tragwerksplaner. Der ohne Überlegung auf eine Brücke fahrende Autofahrer hat es mit einer Gefahr Zweiter Ordnung zu tun, er setzt sich der Möglichkeit eines Brückenversagens aus, ohne dies einer Abwägung zugrunde zu legen. Er würde allerdings im Schadensfall, sofern er diesen überlebt, zum Ankläger der Brückenverwaltung.

Das Ziel dieses Beitrags ist es, das Zusammenspiel der zweiten und der dritten Perspektive in der Ingenieurpraxis zu schildern, also zu zeigen, inwiefern Risiko und Sicherheit Begriffe sind, die zunächst einmal der Handlungsperspektive der Ingenieure, der Praxis angehören, und daß davon die technisch-wissenschaftliche Fassung des Risiko- und des Sicherheitsbegriffs zu unterscheiden ist. In diesem Sinn sei hier die etwas merkwürdig anmutende Behauptung aufgestellt, der Ingenieur habe es mit Risiko und Sicherheit zweimal zu tun, einmal in seiner risikosetzenden und absichernden verantwortlichen Praxis (zweite Perspektive), und zweitens in einer quasi technisch-wissenschaftlichen Einstellung als Grundlage der Erzeugung von Sicherheitsaussagen (dritte Perspektive). Die gesamte praktische Verantwortung eines Tragwerksplaners wird in der zweiten Perspektive übernommen, die baumechanische Analyse von zuvor herauspräparierten Einzelaspekten, zum Beispiel die Ermittlung der Schnittkräfte für ein gegebenes statisches System bei gegebenen Lastfällen, ob im Dienst der Tragwerksplanung oder im Dienst der Prüfung, wird in der dritten Perspektive durchgeführt. Die ingenieurwissenschaftlich fundierte moderne Sicherheitstheorie wird selbstverständlich im Wissen um die Handlungsprobleme der alltäglichen Ingenieurpraxis (zweite Perspektive) entwickelt und entsprechend auch in das moderne technische Regelwerk integriert, es geschieht dies aber in einer den konkreten Praxiszusammenhängen enthobenen theoretischen Einstellung (dritte Perspektive). In diesem Sinn müssen wir dem Begriff des „*Laien*“ zwei unterschiedliche „*Experten*“ gegenüberstellen, die Experten der *Ingenieurpraxis* und die der *Ingenieurwissenschaft*, obwohl wir immer wieder eine Personalunion zwischen beiden Expertentypen antreffen, so zum Beispiel, wenn ein Tragwerksplaner im NA Bau des DIN mitarbeitet.

## 2. Ingenieurrrationalität und technische Rationalität. Sicherheit als Aspekt der Ingenieurrrationalität

In der Betrachtung von außen werden Ingenieure oft kurzschlüssig als „Techniker“, als Träger und „Anwender“ technisch-wissenschaftlichen Wissens aufgefaßt. Darin liegt eine erhebliche Verkürzung, die von Bedeutung für den praktischen Risiko- und Sicherheitsbegriff der Ingenieure ist, denn deren Risikobegriff ist ein Handlungsbegriff und nicht ein Wissensbegriff. Als technische Rationalität verstehen wir die Anforderung oder die Erfüllung des Kriteriums technischer Effektivität an ein Verfahren oder ein Produkt: eine Pumpe muß pumpen, ein Rauchgasreinigungsverfahren muß die angestrebten Effekte erzielen, ein Spannverfahren im Spannbetonbau oder ein Vorschubgerät für das Taktchieben einer Brücke müssen funktionieren, eine bauliche Struktur muß die geforderten statischen und dynamischen Eigenschaften haben. Diese technische Rationalität ist zwar konstitutiv für Ingenieurrrationalität, macht ihren Kern aus, ist aber dennoch grundsätzlich verschieden von der Rationalität der Ingenieurpraxis. In diesen engen Kreis technischer Rationalität gehören auch die technisch-wissenschaftlichen Operationen im Dienste der Produktion einer Sicherheitsaussage für ein gegebenes technisches Gebilde unter Inanspruchnahme zuvor bereits erfolgter Modellbildungen und unter Verwendung ingenieurwissenschaftlicher Verfahren und sicherheitstheoretischer Konzepte.

Die Ingenieurpraxis, insbesondere im Bereich der Anlagen- und Infrastrukturtechnik, stellt umfassendere Rationalitätsansprüche an den Ingenieur. Dies betrifft zunächst die Integration mehrerer Rationalitätsdimensionen. Die erarbeiteten Lösungen müssen technisch effektiv sein (s. o.), sie müssen in einem sehr umfassenden Sinn rechtlich zulässig und sozial akzeptabel sein, wozu auch die Regelwerkskonformität gehört, und sie müssen schließlich den ökonomischen Kriterien der betrachteten Beteiligten genügen. Sämtliche Rationalitätskriterien gelten jeweils mit Bezug auf Interessen, Motive, Leitbilder der verschiedenen Beteiligten. Bauherren, private oder öffentliche, Lieferfirmen, Baufirmen, staatliche Ordnungsverwaltungen, Ingenieurbüros, kritische Bürgerinitiativen bringen die unterschiedlichsten Rationalitätsansprüche mit dem ihnen jeweils verfügbaren Nachdruck zur Geltung. Ingenieurrrationalität vollzieht sich in der situationsbezogenen Integration dieser Ansprüche. Schon von daher sollte deutlich sein, daß sie sich nicht in technischer Rationalität erschöpft. Vielmehr zeigt sich Ingenieurrrationalität in der Vernünftigkeit des Urteils, mit der es von technischer Rationalität Gebrauch macht.

Der Sicherheitsaspekt, die Sicherheit gegen den Störfall ist je nach Technikart unterschiedlich eng mit der technischen Funktionalität verbunden. Bei einer Brücke zum Beispiel sind technische Funktionalität und Sicherheit in großem Maße deckungsgleich, bei einer Müllverbrennungsanlage ist die Kopplung nicht so eng.

Der zweite Unterschied zwischen Ingenieurrrationalität (zweite Perspektive) und technischer Rationalität (dritte Perspektive) ist ein operativer, der sich aus den Vorbehalten ergibt, unter denen alle Urteile, so auch sicherheitstechnische stehen, und unter den zeitlichen und arbeitsökonomischen Beschränkungen, unter denen sie erarbeitet werden. Kein Urteil, sei es ein technisches, ökonomisches u. s. f. ist „kostenlos“ zu haben. Dieser Umstand war Anfang der 60er Jahre einer der Auslöser der Konstruktionswissenschaft, deren Leitmotiv die Beseitigung des „Engpaß Konstruktion“ war. Urteilsqualität und Urteils-

aufwand müssen also gegeneinander abgewogen werden. Dies ist ein elementarer Bestandteil praktischer Rationalität. Technische Rationalität zehrt von den Rahmenbedingungen, die ihr praktische Ingenieurrrationalität setzt. In rein technisch-rationaler Perspektive kann der Aufwand für die Analyse eines Tragwerks beliebig weit getrieben werden, es gibt hierfür keine sachlogische Obergrenze. Der Aufwand muß durch praktisch verantwortete Entscheidungen zum Aufwandsstopp begrenzt werden. Wir kommen hierauf zurück.

### 3. Objektentwurf und Sicherheitsaussagen - zwei Aspekte technischer Sicherheit.

Die Praxis der Technikentwicklung umfaßt zwei Komponenten, die in der Tragwerksplanung kurz und knapp als Entwurf und Bemessung bezeichnet werden. Diese zwei Komponenten der Praxis sind sicherheitstechnisch beide von Bedeutung, die Sicherheitstheorie konzentriert sich aber im wesentlichen nur auf die zweite Komponente. Mit dieser Unterscheidung von Objektgestaltung und Objektanalyse sind die zwei grundlegenden Modi der Sicherheitspraxis der Ingenieure verbunden, die Produktion objektiver **Sicherheit** durch Entwurf und Ausführung (Objektgestaltung), sowie die Produktion von **Sicherheitsaussagen** durch Analyse- und Prüfprozeduren (Objektanalyse). Mit einem guten oder schlechten Anlagenentwurf wird wesentlicher Einfluß auf die tatsächliche Sicherheit genommen, mit der anschließend produzierten Sicherheitsaussage legt der Anlagenentwerfer sich und Dritten gegenüber Rechenschaft über den Sicherheitstatbestand ab. Selbstverständlich ist auch die Produktion der Sicherheitsaussagen ein Beitrag zur objektiven Sicherheit, indem ja ein Kreisprozeß zwischen Entwurf und Bemessung stattfindet, aus Ergebnissen von Sicherheitsaussagen gegebenenfalls Konsequenzen für den Anlagenentwurf und die Anlagenauslegung gezogen werden. Mit der getroffenen Unterscheidung soll aber darauf hingewiesen werden, daß im Bereich des Entwurfs (wie auch der Ausführung) Sicherheitspotentiale liegen, die von den sicherheitstheoretisch angeleiteten Sicherheitsaussagen nur partiell erfaßt werden. In Abb. 2 sind die Kategorien und Instrumente schematisch gegenübergestellt, derer sich die Praxis in den beiden sicherheitsbezogenen Handlungsmodi bedient.

Die **objektive Sicherheit** wird durch den Entwurf und die konstruktive Durchbildung der Anlage (später dann durch die Sorgfalt der Ausführung) „erzeugt“. Die Kategorien, in denen diese objektive Sicherheit ex post, also nach Vollendung des Entwurfs, beschrieben werden kann, fungieren ex ante, im Entwurfsprozeß, als Entwurfsregeln und Entwurfsmaximen. Sie sind konstitutiver Bestandteil der Professionellen Normen, an denen Praktiker der Tragwerksplanung ihr Handeln orientieren. Sie sind nicht mechanisch anwendbar, vielmehr ist ihre Anwendung an Professionelle Orientierung, an praktische, situationsgerechte Urteilsfähigkeit gebunden. Eine Auswahl dieser auf objektive Sicherheit zielenden Entwurfsregeln ist in der linken Spalte von Abb. 2 aufgeführt. Dort finden sich die vom Normenausschuß Bau im DIN (NA Bau) empfohlenen Entwurfsregeln zur Erzeugung **robuster** Tragwerke, sowie aus der Sicherheitstechnik des Anlagenbaus bekannte Systemgestaltungsregeln für den Entwurf störungsunempfindlicher Anlagen.

Pötzl hat in mehreren Beiträgen herausgearbeitet, daß zwischen dem im Entwurf liegenden Sicherheitspotential und den durch das bautechnische Regelwerk angeleiteten Sicherheits-

Entwurfs-Regeln,-strategien, zielen auf objektive Sicherheit	Regeln, Instrumente zur Erzeugung der Sicherheitsaussage/der Risiko-Analyse
<p><b>Entwurfsziel</b> des NA Bau: Robustheit, Unempfindlichkeit. Die Regeln, Elemente sind nicht „mechanisch“ anwendbar, sie sind professionell auf Einzelfall, Kontext zu beziehen und gegeneinander abzuwägen.</p> <p><b>Robustheitsaspekte:</b> Redundanz, Ausfallsicherheit, stabilisierende Konstruktion, Duktilität, Verformungsfähigkeit, kraftflußorientierte Form, Kompaktheit, Austauschbarkeit, fehlerunanfällige Herstellbarkeit, Anpassungsfähigkeit</p> <p><b>Systemgestaltungsregeln</b> im Rahmen des Risk-Management (Hoffmann 1986) Redundanz (z. B. 2 aus 3-Auswahl), Diversität, Fail Safe, Ausfallsicherheit, Fehleranzeige, Instandhaltung, Schadentoleranz, langsamer Schadensfortschritt, Bistabilität (keine indifferenten Zwischenzustände)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Modellierung des Systems (Wirklichkeitsnähe)</li> <li>➤ Modellierung von Einwirkungen und Widerstand, deterministisch oder probabilistisch, hier bei unterscheiden:             <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ klassifizierte, standardisierte Einwirkungen unter Einschluß der stochastischen „Ausreißer“</li> <li>➤ außergewöhnliche Einwirkungen, deren Eventualität vorhergesehen werden muß (vorhersehen und entscheiden !)</li> </ul> </li> <li>➤ Bestimmung der Abstandsmaße, der globalen oder Teilsicherheitsbeiwerte für die Sicherheitsungleichung</li> <li>➤ Vordenken/Bestimmen der relevanten Versagensmechanismen, für die Nachweise zu führen sind</li> <li>➤ Für Risikoanalysen:</li> <li>➤ Störfallbezogene Systemanalyse</li> <li>➤ Ausfalleffektanalyse</li> <li>➤ Störfallablaufanalyse</li> <li>➤ Fehlerbaumanalyse (Kausalitäten für ein Unfallereignis)</li> <li>➤ Ereignisbaumanalyse</li> <li>➤ Detailanalyse der Systemkomponenten</li> <li>➤ Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten</li> <li>➤ Bestimmung von Schadensarten und Schadensumfängen</li> <li>➤ Ermittlung der Risiken</li> <li>➤ Auswertung der Risikoanalyse, Sensitivitätsüberlegungen, Rückkopplungen zum Entwurf, Strategien zur Risikoreduktion</li> <li>➤ Aufstellung von Gefahrenprofilen</li> </ul>

Abb. 2: Faktoren der Sicherheit

aussagen Differenzen liegen. (Pötzl 1996, 1996a, 1999). Die Forschergruppe FOGIB in Stuttgart hat beachtliche Schritte getan, die sicherheitstechnisch relevanten Qualitäten unterschiedlicher Entwürfe von Tragwerken einem rationalen Vergleich zugänglich zu machen. (FOGIB 1997)

Ein Aspekt von Robustheit eines Tragwerks ist zum Beispiel seine Unempfindlichkeit gegenüber lokalem Versagen, das in diesem Fall nicht zum Systemversagen führt. Im Fall eines mehrfeldrigen Brückenträgers bedeutet dies, die Brücke als „Durchlaufträger“ zu entwerfen und nicht als Einfeldträgerkette. Das örtliche Versagen des Balkens bei Überlastung würde im Fall der Einfeldträgerkette zum Einsturz des betreffenden Feldes führen, im Falle des Durchlaufträgers nicht. Dennoch versteht sich die Wahl der Durchlaufträgerlösung nicht von selbst; zum Beispiel dann nicht, wenn der Baugrund größere Setzungsdifferenzen der Brückenfundamente erwarten läßt, in welchem Falle der Brückenträger gerade als Einfeldträgerkette robuster wäre. Die Relevanz dieses Abwägungserfordernisses in bezug auf den Entwurf von Brückenträgern ersieht man an den Brücken der Neubaustrecke Hannover-Würzburg der Deutschen Bahn. Dort finden sich je nach den Umständen entweder Durchlaufträger oder Einfeldträgerketten. Robustheitsregeln entziehen sich somit einer mechanischen Anwendung; sie können in Recht und Regelwerk - wenn überhaupt - nur in hoch abstrakter Form Aufnahme finden, so daß ein weiter Spielraum für eine professionelle, situationsbezogene Umsetzung offenbleiben muß und einer rechtlichen Sanktionierung der Verletzung dieser Entwurfsregeln Grenzen gesetzt sind.

In der Sicherheitskommunikation zwischen den Baubeteiligten, so zwischen dem Antragsteller einer Baugenehmigung und der Genehmigungsbehörde, bilden **Sicherheitsaussagen** das zentrale Kommunikationsmedium. Diese Sicherheitsaussagen unterscheiden sich nach der vorliegenden Technik (zum Beispiel Brücke oder Müllheizkraftwerk oder Kläranlage), sie unterscheiden sich nach dem Schadenspotential der Anlage, nach den rechtlichen Anforderungen an die Aussage, und nach der Phase im Prozeß der Anlagenentstehung, zum Beispiel Genehmigungsverfahren oder Inbetriebnahme. Wesentliche Elemente zur Produktion von Sicherheitsaussagen sind in der rechten Spalte von Abb. 2 verzeichnet. Diese Elemente, zumeist Kurzformeln für Handlungen, lassen erkennen, daß die Produktion von Sicherheitsaussagen erneut gestalterische, kreative und nicht nur analytisch-diagnostische Akte enthält, so zum Beispiel das Vordenken von Versagensmechanismen, das Entwerfen von Ereignisbäumen u. s. f. Ohne einen Versagensmechanismus vorhergesehen zu haben, kann auch keine Sicherheitsaussage in bezug hierauf gemacht werden. Dies haben Ingenieure in der Geschichte des konstruktiven Ingenieurbaus immer wieder feststellen müssen.

Die Ingenieur- und Rechtspraxis bedient sich für **Sicherheitsaussagen** unterschiedlicher Formen. Für bauliche Anlagen, für die im Zusammenhang von Bauantrag und Baugenehmigung der Nachweis der Standsicherheit des Tragwerks der Anlage gefordert wird, ist die sogenannte statische Berechnung die eingeführte Form der Sicherheitsaussage. Eine statische Berechnung (für ein ganzes Tragwerk oder für Tragwerksteile) unterliegt mathematisch-physikalischen Wahrheitskriterien und pragmatischen Richtigkeitskriterien. Diese Richtigkeitskriterien sind Bestandteil professioneller Normen. Zwischen ingenieurwissenschaftlichen Wahrheitskriterien und professionellen Richtigkeitskriterien besteht eine kategoriale Differenz.

Das Zusammenspiel von Gestaltung und Analyse, von Entwurf und Bemessung, von Produktion objektiver Sicherheit und von Sicherheitsaussage unter Einbeziehung der für diese Praxiselemente erforderlichen formalen Operationen ist im „Zwei-Ebenen-Modell

der Bauingenieurpraxis“ zusammenfassend dargestellt (Abb. 3). Die eigentliche Praxis ist durch die erste Ebene gekennzeichnet, sowohl durch das interne Wechselspiel zwischen Gestaltung und Analyse, als auch durch die Interaktion mit den übrigen Beteiligten und durch Bezugnahme auf den Anlagenkontext. Dies ist die eigentliche professionelle Ebene. Dann allerdings ist die zweite, die operative Ebene zu betrachten, deren Ausgestaltung sich in den zurückliegenden Jahrzehnten stark verändert hat. Die EDV hat hier nicht nur die Arbeitsproduktivität gesteigert, sondern dem Einsatz wissenschaftlich und sicherheitstheoretisch anspruchsvollerer Ansätze das Tor geöffnet. Aufgrund der nun beherrschbaren anspruchsvolleren Verfahren gewinnt das eigentlich professionelle Handeln auf der Praxis-ebene (Ebene 1) immer neue Qualität, das Wechselspiel von Risikosetzen und Sicherheitsstrategie wird immer subtiler. Die operative Ebene hat also nicht nur eine abgeleitete, dienend-instrumentelle Funktion für die eigentliche, immer gleich bleibende Praxis, sondern sie bildet aufgrund ihrer Verwissenschaftlichung und Technisierung (durch EDV) einen dynamischen Faktor der ganzen Praxis, insofern sie dieser Praxis die Behandlung immer subtilerer Fragestellungen eröffnet. Weil diese Dynamik immer wieder neue Unvertrautheiten stiftet und sicherheitsrelevante Erfahrungen veralten läßt, ergibt sich ein ambivalentes Verhältnis zwischen Fortschritt im Wissen und Prozeß der Sicherheitsgewährleistung. Wissenszuwachs trägt zum Potential der Sicherheitsgewährleistung und zugleich zu Unvertrautheiten und damit zum Risiko bei.

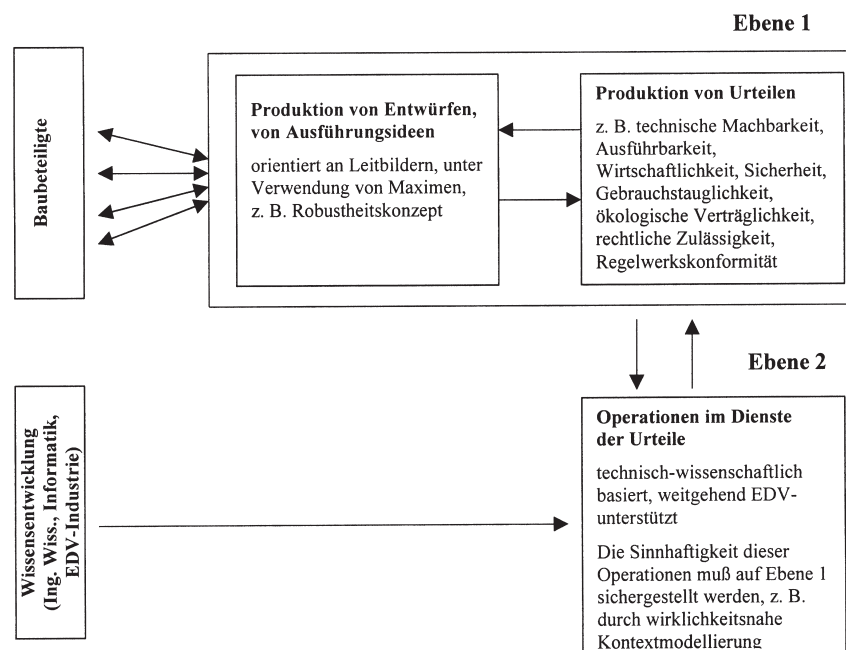


Abb. 3: Zwei-Ebenen-Modell der Bauingenieurpraxis

Der Sinn bestimmter Operationen auf der zweiten Ebene, die Aussagefähigkeit deren Ergebnisse wird auf der Ebene des professionellen Urteils und der professionellen Praxis bestimmt. Insbesondere die Herstellung des Kontextbezugs einer Tragwerksplanung und die Beurteilung des Geltungsanspruchs des Regelwerks für die vorliegende Planungsaufgabe obliegen professionellem Handeln und Urteilen. Beim Standsicherheitsnachweis, dem hier gewählten Beispiel, bildet sich die Unterscheidung von professioneller Urteilebene und wissenschaftlich-technischer Operationenebene folgendermaßen ab: Das gegebene Tragwerk und sein Kontext müssen modelliert werden, mögliche Versagensmechanismen müssen vorhergesehen und sachangemessene Berechnungsverfahren ausgewählt werden. Nach Durchführung von Berechnungsoperationen müssen die Ergebnisse interpretiert und auf das Tragwerk bezogen werden, gegebenenfalls mit der Konsequenz einer Modifikation des Tragwerksentwurfs. Alle diese Urteile sind nicht nur in bezug auf ein Objekt, ein Tragwerk oder eine Anlage zu fällen, sondern auch *für* andere Akteure in der Projektorganisation, die diese Urteile erwarten, in Auftrag gegeben haben oder aus ihnen Konsequenzen ziehen wollen, so insbesondere auch für Genehmigungsbehörden. Alle diese Handlungen sind „richtig“, „angemessen“ etc. oder nicht, sie sind aber nicht wahr oder falsch. Im Dienste dieser Urteile und praktischen Handlungen werden Berechnungen auf mathematisch-physikalischer Grundlage durchgeführt - nach den Regeln der Baustatik (Ebene 2). Ob diese Operationen überhaupt sinnvoll und ihre Ergebnisse praktisch relevant sind, kann nur auf der praktischen Urteilebene beurteilt werden (Ebene 1). Auf der Operationenebene kann und muß allerdings geprüft werden, ob die Berechnungsergebnisse wahr oder falsch sind, ob zum Beispiel das Gleichgewicht der Kräfte innerhalb des modellierten Systems gewahrt ist. Auf der Ebene 1 haben wir es mit praktischem Handeln, mit „Praxis“ im emphatischen Sinn zu tun. Rationalität ist hier im umfassenden Sinn von Ingenieur rationalität gefragt. Auf der Ebene 2 dagegen haben wir es mit einer der praktischen Sinngebung bedürftigen technischen Rationalität zu tun.

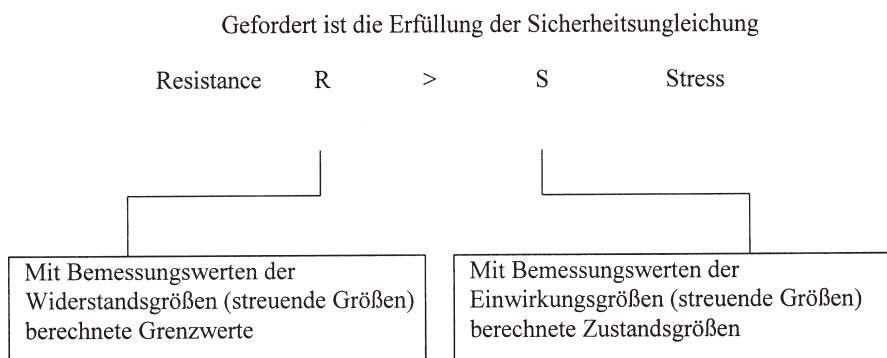
Diese Unterscheidung von praktischem Urteil und mathematisch-physikalischer Operation gilt es bei der Bezugnahme des Rechts auf technische Expertise zu bedenken. Das Recht bezieht sich seinem eigenen Verständnis nach auf praktische Urteile von Praktikern über die Sicherheit von Anlagen, nicht auf Aussagen dieser Praktiker zur technisch-wissenschaftlichen Qualität einzelner Operationen. Wenn das Technikrecht für bestimmte Anlagen die Berücksichtigung des Standes der Wissenschaft oder des Standes der Technik fordert, dann ist dies in bezug auf unsere Zwei-Ebenen-Unterscheidung eine elliptische Forderung (elliptische Forderung bedeutet: sie enthält nur die Hauptforderungen, die für das Verständnis entbehrlichen Teile sind ausgelassen), insofern Urteilen von Praktikern keine dieser Qualitäten (Stand der Wissenschaft etc.) zukommen kann, das wäre kategorial falsch.

#### 4. Sicherheitsaussagen und Sicherheitstheorie.

Für die Produktion von Sicherheit sind Entwurf und Bemessung gleichermaßen bedeutsam. Die Sicherheitstheorie und das Regelwerk, ob herkömmlich oder modern, konzentrieren sich auf die Bemessung und damit auf die Produktion von Sicherheitsaussagen. Baustatische Berechnungen sind der konkrete Ausdruck einer prinzipiellen Sicherheits-



ungleichung, nach der der Widerstand eines Tragwerks größer als die Beanspruchungen aus Einwirkungen sein muß, mit der Nebenbedingung eines gehörigen Abstandsmaßes, so daß die Versagenswahrscheinlichkeit genügend klein ist (s. Abb. 4). „Sicher“ ist ein Tragwerk, wenn dies der Fall ist. In bezug auf dieses grundsätzliche Konzept besteht kein Unterschied zwischen konventioneller und moderner Sicherheitstheorie. Insbesondere besteht die Gemeinsamkeit darin, daß diese Aussagen kein Risikokalkül i. e. S. enthalten.<sup>1</sup> Sie sind zwar am Begriff des Risikos insofern orientiert, als die Anforderungen an die Versagenswahrscheinlichkeit steigen mit den auf dem Spiel stehenden materiellen und politisch-legitimatorischen Schadenswerten, Risikokalküle werden aber nicht angestellt. Wenn im Zusammenhang mit dem gewählten Maß der in Kauf genommenen Versagenswahrscheinlichkeit von einem in Kauf genommenen Restrisiko die Rede ist (vgl. Schneider 1996, S. 17), dann bedeutet dies nicht, daß dieser Aussage ein Risikokalkül im strengen Sinn zugrunde liegt. Risiko als regulative Idee steht hinter der verantworteten Wahl des Abstandsmaßes zwischen den beiden Verteilungen von Einwirkungen und Widerstand.



**Bemessungswerte** (gem. DIN 18800): diejenigen Werte der Widerstandsgrößen und Einwirkungsgrößen, die für die Nachweise anzunehmen sind. Sie beschreiben einen Fall ungünstiger Einwirkungen auf Tragwerke mit ungünstigen Eigenschaften. Ungünstige Fälle sind in der Realität nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit zu erwarten (Restrisiko).

Bemessungswerte mit Teilsicherheitsbeiwerten aus den charakteristischen Werten ermitteln (95 % Fraktile und 5 % Fraktile).

Teilsicherheitsbeiwerte für:

Gebrauchstauglichkeit i. d. R. 1,0

Tragsicherheit > 1,0 (je nach Sicherheitsklasse)

Abb. 4: Nachweis der Tragsicherheit im konstruktiven Ingenieurbau<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Risikokalkül i. e. S. soll hier die Ermittlung des Produkts aus Eintrittswahrscheinlichkeiten eines Ereignisses und dem Wert des aus dem Ereignis folgenden Schadens heißen

<sup>2</sup> Rekonstruiert gemäß Scheer/Pasternak/Hofmeister 1994



Die Modernität der modernen Sicherheitstheorie im konstruktiven Ingenieurbau verdankt sich wirklichkeitsnäheren Versagensmodellen, wirklichkeitsnäherer Systemmodellierung und damit der besseren Beschreibung von Einwirkungs-Widerstands-Interaktionen, einer auf besserer Datenlage fußenden probabilistischen Beschreibung von Einwirkungs- und Widerstandsgrößen und einer differenzierten Absicherung gegenüber bestimmten Einwirkungen (Teilsicherheitsbeiwerte und Kombinationsfaktoren) (vgl. Harries 1999). Kein Unterschied zur konventionellen Sicherheitskonzeption ergibt sich jedoch in bezug auf den Sicherheitsbeitrag des Anlagenentwurfs und der jeweils aktuellen praktischen Kontextuierung der Sicherheitsaussage - der Übergang zwischen Sicherheitsaussage und Anlagenrealität bleibt an professionelle Leistungen und Urteilsfähigkeit gebunden, die Sicherheitstheorie unterbelichtet die „objektive“ Anlagensicherheit, sofern sich diese dem Entwurf und der Ausführung verdankt. Die Modernität der Sicherheitskonzeption besteht damit ausschließlich in der Modernität der Generierung der Sicherheitsaussage.

Ein markantes Beispiel für den notwendigen Beitrag professioneller Urteilsfähigkeit bei der Erzeugung von Sicherheitsaussagen betrifft die sogenannten außergewöhnlichen Einwirkungen. Ungewißheit bei den Einwirkungen besteht nicht nur in bezug auf die stochastischen „Ausreißer“ im Rahmen klassifizierter, standardisierter Einwirkungen in Gestalt von Verkehrslasten, Wind etc. (Lastfälle), sondern in bezug auf jene Ereignisse, die sich in ihrer unendlichen Mannigfaltigkeit nicht klassifizieren lassen und für die deshalb auch keine Auftretenswahrscheinlichkeiten ermittelt werden können. In nichtgezügelter Phantasie lassen sich stets Einwirkungen auf Tragwerke vorstellen, anhand derer diese „kaputtgerechnet“ werden können, zum Beispiel im Falle von Gebäuden an Ortsdurchfahrten von Bundesstraßen. Tragwerksplaner pflegen diese Probleme in Absprache mit dem Prüfeningenieur „ingenieurmäßig“ zu lösen, also praktisch vernünftige Annahmen für die Einwirkungen zu treffen. Einen modernen Versuch, auch diesen Bereich des Ungewissen noch in standardisierter Form zu fassen, bildet der Teil 2.7 von Eurocode 1 (ENV-1991-2-7), „Actions on structures - Accidental actions due to impact and explosions“. Auch in anderen Normen finden sich Hinweise zu „außergewöhnlichen Einwirkungen“. Am verantworteten persönlichen Urteil des Tragwerksplaners führt aber kein Weg vorbei.

Eine andere Form der Sicherheitsaussage bilden sogenannte **Sicherheitsanalysen**, wie sie für Industrieanlagen nach § 7 der 12.BImSchV vorgeschrieben sind. Hier handelt es sich um „oberhalb“ detaillierter Berechnungen geforderte argumentative Beurteilungen des Anlagenentwurfs insbesondere im Blick auf Systemgestaltungsregeln wie Redundanz, Fail Safe, Diversität. Diese Sicherheitsanalysen haben den Charakter der Objektivierung einer Prüfprozedur in Bezug auf Anlagenkonzeption, Entwurf, Konstruktion. Prüfmaßstab bilden sicherheitssteigernde Anlageneigenschaften. Von einem Risikokalkül i. e. S. ist auch hierbei nicht die Rede.

Schließlich gibt es auch Sicherheitsaussagen im Sinne regelrechter **Risikoanalysen**, wie sie bei Kernenergieanlagen vorgeschrieben sind. Klingmüller/Bourgund (1992) haben gezeigt, inwieweit derartige Risikoanalysen i. e. S. auch im konstruktiven Ingenieurbau Anwendung finden. Risikoanalysen in diesem strikten Sinn fußen auf dem Entwurf von Versagenszenarien, auf zuverlässigem, auf das entsprechende Szenario bezogenem, validem Datenmaterial für eine probabilistische Beschreibung von Einwirkung und Widerstand,

sowie auf Schadenswertbestimmungen, die rechtlichen und politisch-legitimierenden Anforderungen genügen. Ungeachtet dieser anscheinend strikten Voraussetzungen bleibt die Validität dieser speziellen Risikoanalysen ebenso wie die der Sicherheitsanalysen allgemein an professionelle, gestalterische Leistungen der Personen gebunden, die diese Analysen anstellen.

In den bisherigen Ausführungen ging es stets um *Sicherheitsaussagen* als zentralem Medium der Sicherheitskommunikation zwischen den Baubeteiligten. Der Terminus „Sicherheitsaussage“ bildet sowohl begrifflich wie auch in seiner operativen Bedeutung einen Gegenbegriff zur Idee der objektiven Sicherheit, auf die die Entwurfs- und Ausführungspraxis zielt. Wir haben drei Formen von Sicherheitsaussagen erläutert: Baustatische Sicherheitsnachweise, Sicherheitsanalysen für Anlagen gemäß der 12.BImSchV, sowie Risikoanalysen im engeren Sinn.

Das Festhalten an der Kategorie der objektiven Sicherheit kann nicht durch den erkenntniskritischen Hinweis ausgehebelt werden, daß die Verständigung über die Wirklichkeit stets an Aussagen gebunden bleibt. Das wirklichkeitsbezogene Festhalten am Begriff der objektiven Sicherheit bietet die Basis für kritische Vorbehalte gegenüber Sicherheitsaussagen, insofern deren Wirklichkeitsnähe und Triftigkeit von vielen Voraussetzungen abhängt, auf die durch die Praxis Einfluß genommen werden kann. Ein professionell handelnder Prüfsachverständiger für Baustatik wird in diesem Sinn nicht nur die interne Korrektheit (Wahrheit) der ihm vorgelegten Statik prüfen, sondern auch die dieser Statik zugrundeliegenden Annahmen, Modellbildungsleistungen (Kontextuierung). Nur informell wird er allerdings im gegebenen Fall dem „Aufsteller“ gegenüber den Entwurf des Tragwerks kritisch kommentieren. Die Sicherheitsaussage ist wesentliches Koppelglied zwischen Technik und Recht, zwischen den Baubeteiligten in den Rollen von Antragstellern und Genehmigungsbehörden u. s. f. Die Sicherheitsaussage macht technische Rationalität anschlussfähig für das Recht. Aber nicht an diesen Sicherheitsaussagen selber, sondern an der objektiven Sicherheit haben alle Beteiligten ein Interesse.

In einem der Grundlagendokumente der modernen Sicherheitstheorie, den „Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen“ [GRUSI BAU 1981] ist die Unterscheidung von objektorientierten „Maßnahmen“ und aussageorientierten Analysekonzepten vorgezeichnet. Die GRUSI BAU ist in diesem Sinne in „Maßnahmen“ und „Entwurfsregeln“ (Kapitel 3 und 4) und in „Grundlagen für die Bemessung“ sowie „Nachweisverfahren mit Hilfe von Teilsicherheitsbeiwerten“ (Kapitel 5 und 6) gegliedert. Hier zeigt sich auch für den Bereich des konstruktiven Ingenieurbaus, daß die Sicherheitstheorie nur den Bemessungsprozeß, also die Produktion von Sicherheitsaussagen, nicht aber den Entwurfsprozeß fundiert (s. u.). Nicht nur sind Technik und Recht, Ingenieurpraxis und Rechtspraxis ganz wesentlich über Sicherheitsaussagen gekoppelt, sondern es kommt hinzu, daß dieses Koppelstück ingenieurwissenschaftlich fundiert ist. Dies koinzidiert mit der Vorstellung des Rechts vom Gleichschritt wissenschaftlichen Fortschritts und Zuwachs an Rechtsgüterschutz. Die Erschließung von Sicherheitspotentialen durch Entwurfspraxis bleibt professioneller Orientierung anheimgestellt. In jüngerer Zeit sind Anstrengungen unternommen worden, den Entwurfsprozeß und dessen Regeln sowie die Kategorien zur Beschreibung von Ingenieurbauten zu objektivieren (FOGIB-Studie,

FOGIB-Arbeitsgruppe an der TU Stuttgart). Diese Regeln und Kategorien sind geeignet, alternative Objekt- und Tragwerksentwürfe (zum Beispiel in Wettbewerben) zu vergleichen und dies auch in bezug auf sicherheitsrelevante Kategorien wie die der Robustheit. An der Offenheit von Entwurfssituationen, an der Konstitutionsbedürftigkeit von Entwurfsproblemen ändern diese zweifellosen Fortschritte jedoch nichts.

### 5. Die Sachlogik der Technikentwicklung – Eingriffspunkte für die Sicherheitsgewährleistung

Ziel des Beitrags ist es, Sicherheitsgewährleistung als einen Aspekt der umfassenden Ingenieurpraxis darzustellen, und nicht nur als ein ingenieurwissenschaftliches Konzept zur Erzeugung von Sicherheitsaussagen. Dieser Praxis liegt eine Sachlogik zugrunde, derer man sich vergewissern muß, wenn man eine wirklichkeitsnahe Vorstellung davon gewinnen will, wie Sicherheit praktisch gewährleistet wird. Diese Sachlogik ist in den zurückliegenden vier Jahrzehnten vielfach untersucht worden, so im Maschinenbau und im Bauingenieurwesen; darauf kann hier nur verwiesen werden.<sup>3</sup> Hier werden nur einige Hinweise gegeben, aus denen ersehen werden kann, in welchem großem Umfang der sicherheitstheoretische Beitrag zur Sicherheit eingebettet ist in professionelle Leistungen der Praktiker, die entweder einen eigenständigen Beitrag zur objektiven Sicherheit bieten oder als notwendige Voraussetzung der Erzeugung von Sicherheitsaussagen vorausgehen.

(1) **Konstitutionserfordernis und unvollständige Definition von Entwurfsproblemen.** Im Abschnitt 3 wurde auf die Bedeutung des Entwurfs für die objektive Sicherheit hingewiesen. Der Entwurf bildet die Lösung eines Problems, das zu Beginn der Projektbearbeitung oft nur sehr vage und unvollständig definiert ist. Durch die Beteiligung an der Problemdefinition und durch die Erarbeitung von Lösungsoptionen kann ein großer Beitrag zur späteren Bauwerks- oder Anlagensicherheit geleistet werden. Auch in relativ späten Phasen der Geschichte von Infrastrukturprojekten, zum Beispiel von Brücken, werden noch Beiträge zur Problemdefinition und Problemlösung fällig, zum Beispiel bei der technischen Angebotsbearbeitung auf Ausschreibungen anhand von Sondervorschlägen (vgl. Kinkel 1999). Im späteren Sicherheitsnachweis wird der schließlich ausgewählten Lösung Regelkonformität bescheinigt, aber diese Bescheinigung schließt nicht den Vergleich mit einer möglichen alternativen Lösung ein, die zum Beispiel unter Robustheitskriterien viel günstiger wäre. Sicherheit ist also abhängig davon, wieviel tragwerksplanerischer Aufwand gerade in den frühen Phasen der Projektbearbeitung geleistet wird. In diesem Sinn ist auch der um sich greifende Preiswettbewerb auf dem Planungsmarkt, die Aushebelung der HOAI, ein Vorgang, der zwar nicht zur Verletzung von Sicherheitsanforderungen, aber zur Nichtausschöpfung von Sicherheitspotentialen führt. (Ekardt 1996)

(2) **Erfordernis von Modellbildungsleistungen.** Die Beurteilung der Eigenschaften eines entworfenen Objekts setzt dessen Modellierung voraus. Das System im ganzen,

<sup>3</sup> Hingewiesen sei auf Schwarz (1977), Mühlshwein (1979), Ekardt (1978), Pahl/Beitz (1977), Mackensen (1997).

seine Details, seine Kontextbeziehungen, das Materialverhalten, die Lagerungsbedingungen, das Systemverhalten, seine Versagensmechanismen, Störfallabläufe bedürfen der Modellierung. Von der Modellierung hängt der Analyseaufwand ab; der Anspruch an die Wirklichkeitsnähe und Aussagefähigkeit der Analysen bestimmt den Modellierungsaufwand; die Grenzen der Modellierung sind durch die verfügbaren Analyseverfahren gesetzt. Die parallele Entwicklung in Ingenieurwissenschaften und Technik der Datenverarbeitung haben die Modellierungs- und Analysegrenzen stark verändert im Sinne fortschreitender Wirklichkeitsnähe und Validität der Analysen. Die Analyseprozesse sind in umso größerem Maße von kreativen Handlungen abhängig, je größer das technisch-wissenschaftliche Analysepotential ausgeweitet wird. Die objektiven Möglichkeiten der Produktion von Sicherheitsaussagen steigen im gleichen Maße wie die Möglichkeiten von Versäumnissen, Fehlern, Unterlassungen. Sind bestimmte Versagensmechanismen überhaupt nicht ins Auge gefaßt worden, kann eine hierauf bezogene Sicherheitsaussage nicht produziert werden. Kollektive Überzeugungen können - wie die Erfahrung mit Schadensfällen lehrt - auch über einen technisch-wissenschaftlichen Entwicklungsstand hinaus weiterhin Geltung haben, ein Schadensfall und dessen Analyse werden dann zum Auslöser und zur Triebkraft der Verbreitung und des Ernstnehmens eines Wissens, das schon vorgelegen hat, etwa in Tagungsberichten, Fachaufsätzen, eventuell sogar in Hinweisen in Normblättern, die bis dahin „übersehen“ worden sind. (Vgl. hierzu Ekardt 1998)

(3) Die **Zerlegung von Entwurfsaufgaben** ist bei Infrastrukturprojekten aus mehreren parallel geltenden Gründen erforderlich und stiftet anschließend Probleme der Verträglichkeit der erarbeiteten Teillösungen. Gründe der Zerlegung sind die schiere Größe der Anlagen, die eine kompakte Analyse im Ganzen, in einem Zugriff auch dann ausschließen, wenn der Bearbeiter umfassend qualifiziert wäre, beliebig viel Zeit zur Bearbeitung erhielte und die Arbeitsproduktivität keine Rolle spielte. Die parallele Bearbeitung von Teilproblemen oder Subsystemen, deren Ergebnisse an den Schnittstellen einander voraussetzen, stiftet sicherheitsrelevante Abstimmungserfordernisse. Die Abstimmungsdefizite an diesen Schnittstellen werden durch keine Sicherheitsaussage erfaßt. Sie gehören häufig zu den Faktoren von Schadensfällen (vgl. Ekardt 1998 und 1996a).

(4) **Phasenstruktur und zirkuläre Abfolgemuster.** Die Planung und der Entwurf großer technischer Anlagen vollziehen sich in aufeinander folgenden Phasen, zwischen denen charakteristische Abfolgebeziehungen bestehen. Dieser sachlogische Tatbestand ist von allen oben (Fn 4) erwähnten Theorieansätzen einhellig herausgearbeitet worden. Für den Bereich des Maschinenbaus hat der VDI diesen Tatbestand sogar in mehreren Richtlinien präskriptiv erhärtet, so zum Beispiel in der VDI-Richtlinie 2222.<sup>4</sup> Im Bereich des Bauwesens hat diese Phasenabfolge ihren Niederschlag in den Leistungsbildern der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) gefunden. Für den Prozeß der Sicherheitsgewährleistung sind diese Phasengliederung als solche und die tatsächlichen Abfolgemuster zwischen den Phasen von großem Belang, insbesondere auch für die Vorstellungen des Rechts von diesen Abfolgen. Für die rechtliche Eröffnungskontrolle (z. B. Baugeneh-

<sup>4</sup> VDI Richtlinie 2222, Blatt 1, Konstruktionsmethodik. Konzipieren technischer Produkte.

Phasen (Beispiel)	Haupt-Akteure
Nutzungsplanung Funktionsplanung	Bauträger/Bauherr selber oder durch beauftragtes Büro
Anlagenentwurf/Entwurfsplanung Genehmigungsplanung, Bemessung auf strategisch wichtige Bereiche beschränkt	meist durch Ingenieurbüros im Auftrag des Bauträgers
Genehmigung 1	Behörde(n)
Ausschreibung, Angebot, Vergabe (Vertrag)	Bauträger + Ingenieurbüro Baufirma/ARGE, evtl. m. Ing.büro
Ausführungsplanung, Berechnung, Bemessung/Dimensionierung/ Auslegung im Detail	Baufirmen, Lieferfirmen evtl. mit Ingenieurbüro
Genehmigung 2	Behörde(n)
Herstellung (im Werk) Errichtung (Baustelle)	Lieferfirmen Baufirmen
Abnahme, Inbetriebnahme	Betreiber/Behörde(n)

Abb. 5: Phasen der Anlagenplanung, des Anlagenbaus

migung) ist der Detaillierungsgrad der Planung und der bis dahin erzeugten Sicherheitsaussagen oft nicht ausreichend, um eine „rechtliche Risikosteuerung“ zu ermöglichen (vgl. Roßnagel 1999, Neuser/Pottschmidt 1999).

Eine Reihe sachlogischer Faktoren führen dazu, daß sich zirkuläre Abfolgen zwischen den Phasen herausbilden. Der wichtigste Faktor ist die unter (1) erläuterte unvollständige und unscharfe Problemstellung. In sachlogisch „späten“ Phasen stellt sich heraus, daß Annahmen, Vorgaben, Setzungen aus frühen Phasen nicht aufrechterhalten werden können. Je vertrauter die Entwurfsaufgabe und je größer die Erfahrung der Bearbeiter, um so eher gelingt eine faktische Linearisierung der Phasenabfolge. Umgekehrt tragen eine größere innere Komplexität der Anlage und komplexe und kontingente Beziehungen zum Anlagenkontext zu stärkerer Zirkularität bei. Aus der Abb. 5 ist zu entnehmen, daß in den verschiedenen Phasen unterschiedliche Akteure aus dem Netzwerk der Baubeteiligten tätig sind, die Bauträger in den frühen Phasen, die Errichter in den späten. Schließlich ist aus Abb. 6 zu entnehmen, daß professionelle Normen, Regelwerk und Recht in jeweils spezifischen Phasen steuernden Einfluß auszuüben vermögen.

		Nutzungs- planung	Anlagen- entwurf	Bemessung, Auslegung, Dimensionierung	Geneh- migung Prüfung	Errichtung Ausführg. + Planung derselben
		Bausträger	Berat. Ing.		Behörde/ Prüfer/ Gutachter	Firmen
Profess. Normen	B		X X X	XX	X	
	MVA		X X X	XX	X	
	ARA		X X X	XX	X	
Regel- werk	B		X X	X X X	XXX	XX
	MVA		X X	X X X	XXX	XX
	ARA		X X	X X X	XXX	XX
Recht	B				X	X
	MVA	X X (X)		X X	X X X	X
	ARA	X X (X)		X X	X X X	X

- 1) Legende: B: Brücken; MVA: Müllverbrennungsanlagen; ARA: Abwasserreinigungsanlagen. Die angelegten Felder bezeichnen die Haupteingriffsbereiche der Steuerungsmedien  
 2) Die Anordnung und die Anzahl der X zeigt an, in welchen Phasen der Anlageentwicklung die drei Steuerungsmedien Professionelle Normen, Regelwerk, Recht welchen Intensitätsgrad des Einflusses erreichen.

Abb. 6: Einfluß der Steuerungsmedien in den Projektphasen

Abbildung 7 ist zu entnehmen, daß auf die sogenannte objektive Sicherheit, die faktische Standsicherheit eines Tragwerks beispielsweise, durch den Entwurf und durch die Ausführung Einfluß genommen werden kann, daß dagegen die Sicherheitsaussage in der Sicherheits- und Risikoanalyse produziert wird. Unzureichende Ergebnisse der Sicherheitsaussage geben dann Anlaß zur Rückkehr in die Entwurfsphase, um den Anlagenentwurf zu modifizieren.

## 6. Technikentwicklung durch Projekte – *experimentelle Praxis mit evolutionärem Risiko.*

Nach der in diesem Beitrag vorgetragenen Auffassung ist der Risikobegriff der Ingenieure ein Handlungsbegriff, ein Begriff der Praxis. Der davon zu unterscheidende technisch-wissenschaftliche Begriff bildet allerdings den technischen Kern des umfassenden praktischen Risikobegriffs, und es wurde dargestellt, daß die durch die Entwicklung von Wissenschaft und EDV angestoßenen Verfeinerungen des technisch-wissenschaftlichen

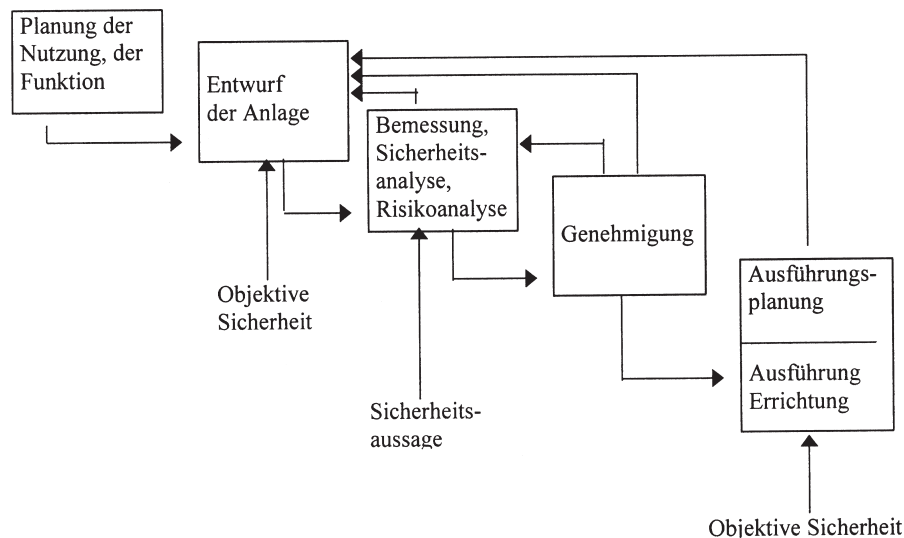


Abb. 7: Phasen der Anlagengenesse und Einfluß auf die Sicherheit/das Risiko

Kerns auch ausstrahlen auf den umfassenden Risikobegriff, denn die neuen ingenieurwissenschaftlichen Potentiale erlauben es der Praxis, anspruchsvollere, wirklichkeitsnähere, wirtschaftlichere Problemstellungen und Problemlösungen zu bearbeiten. Für einen Risikobegriff als wirklichkeitsnahen Praxisbegriff ist nun aber erforderlich, die konkreten Umstände der Entwicklung und Ausbreitung von Technik zu berücksichtigen. Diese Umstände unterscheiden sich je nach Technikbereich in starkem Maße; die hier vorgetragenen Überlegungen beziehen sich auf den Bereich der Anlagen- und Infrastrukturtechnik.

Für diesen Bereich der Anlagen- und Infrastrukturtechnik gelten neben vielen anderen zwei Aspekte, die von besonderer Bedeutung für den Prozeß der Sicherheitsgewährleistung sind, die enge Kopplung der *Innovation*, der Wissensrevolution mit der Technikausbreitung in realen Projekten und, völlig unabhängig vom Gesichtspunkt der Innovativität, das Erfordernis der Einfügung der neuen Anlagen in konkrete Kontexte, in die bestehende technische Infrastruktur, in soziale und ökologische *Kontexte*. Unter den beiden genannten Aspekten unterscheidet sich Technikentwicklung im Infrastrukturbereich so sehr von der Entwicklung in anderen einschlägigen Bereichen wie Produktionstechnik, Haushaltstechnik u. s. f., daß hierfür der Terminus „*Technikentwicklung durch Projekte*“ gerechtfertigt erscheint. Es handelt sich um Projekte, die ein technisches Unikat zum Ziel haben, das in einen spezifischen Kontext einzufügen ist und bei dem häufig in geringerem oder größerem Umfang Neuerungen im Bereich von Werkstoffen, Bauteilen, Fertigungsverfahren eingesetzt werden. Die Projektbearbeitung beginnt, wie im Abschnitt 5 beschrieben, mit der Problemkonstitution, sie ist keineswegs nur Problemlösung unter routinedhafter Anwendung ingenieurwissenschaftlicher Instrumente. Die Notwendigkeit der Einbettung in



einen infrastrukturellen und ökologischen Kontext hat zur Folge, daß das Handeln aller Beteiligten unter der Bedingung der Ungewißheit steht, der Wissensvorbehalte, der Begrenzung der kognitiven Beherrschung der Anlagenkomplexität, der beschränkten Aneignung des Anlagenkontextes und der unvollständigen Beschreibung der Beziehungen zwischen der Anlage und ihrem Kontext.

Im Unterschied zu Innovations- und Entwicklungsprozessen in vielen anderen Bereichen, die in abgeschirmten, dem Ernstfall noch enthobenen Labors stattfinden, verschmelzen in unserem Bereich Forschung, Erfindung, Entwicklung, Ausbreitung, Anwendung. Dieses „Verschmelzen“ des Innovationsmoments zusammen mit der zirkulären Beziehung zwischen Problemkonstitution und Problemlösung und dem Kontextuierungserfordernis sind der Anlaß dafür, die „**Technikentwicklung durch Projekte**“ als „**experimentelle Praxis**“, verbunden mit „**evolutionärem Risiko**“ zu kennzeichnen (vgl. Krohn/Krücken 1993, Krohn 1997). Schadensfälle erinnern immer wieder daran, daß der mit der Projektdurchführung verbundene, stetige, oft unmerkliche Neuerungsprozeß uns aus dem Geltungsbereich bisheriger Überzeugungen, Leitbilder, Technischer Regeln, Verfahren, Vorstellungen von Versagensmechanismen herauswachsen läßt, daß wir langfristige Wirkungen technischer Lösungen nur unzureichend überblicken. Wir lernen Risiken kennen, indem wir sie eingehen, „evolutionäre Risiken“. Diese evolutionäre Offenheit, die mit der Ausbreitung und Entwicklung technischer Infrastrukturen verbunden ist, mit der Komplexitätszunahme der bestehenden, ständig aufgestockten und zusätzlich vernetzten Infrastruktur, verletzt die idealen Randbedingungen, die dem ingenieurwissenschaftlichen Kern des Risikobegriffs zugrunde liegen. Technikentwicklung ist Praxis im emphatischen Sinn, sie erfordert das „innere Auge“ des Ingenieurs (Ferguson 1993), die gedankliche Vorwegnahme der Komplexitätszunahme des immer schon Dagewesenen, und sie erfordert die Verantwortungsübernahme für all die Wissensvorbehalte, Geltungsvorbehalte, die mit dieser eingreifenden Praxis verbunden sind.

Diese Sachverhalte verweisen darauf, daß die mit der Infrastrukturentwicklung verbundenen Risiken ein Zusammenspiel zwischen Bau-, Planungs- und Umweltrecht, Technischem Regelwerk und professionellem verantwortlichen Handeln erfordern. Eine staatliche Technik- und Risikosteuerung mit dem Instrument des Rechts ist an der Schnittstelle zur Technik, zur technischen Praxis, auf Sicherheitsaussagen auf ingenieurwissenschaftlicher Grundlage angewiesen. Das große Sicherheitspotential, das im entwerferischen und konstruktiven Handeln liegt, und die Fähigkeit und Bereitschaft von professionellen Ingenieuren, mit innerer Komplexität und äußeren Kontextbedingungen sowie mit unvermeidlichen Wissensvorbehalten verantwortlich umzugehen, wird von Sicherheitsaussagen nach Maßgabe der Sicherheitstheorie nicht ausreichend eingefangen; angewiesen sind Staat und Gesellschaft hierauf dennoch.

## 7. Schlußbemerkung.

Es sollte gezeigt werden, daß der Sicherheitsbegriff der Ingenieure ein Handlungsbegriff ist, der subjektive Leistungen und verantwortete Entscheidungen, insbesondere kreative, gestalterische Leistungen einschließt. Dieser umfassende Sicherheitsbegriff der



Praxis schließt den ingenieurwissenschaftlichen Begriff der Sicherheitstheorie ein, durch den die von den Ingenieuren zu erarbeitenden Sicherheitsaussagen fundiert werden. Die Ingenieurpraxis zielt, neben anderen zentralen Werten wie Funktionalität/Gebrauchstauglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Ästhetik, auf Sicherheit in einem umfassenden Sinn. Zulässige Sicherheitsaussagen sind eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung zum Erfüllen des umfassenden professionellen Sicherheitsanspruchs. Eine rationale Ingenieurpraxis ohne wissenschaftliche und in diesem Sinn sicherheitstheoretische Grundlage ist heute nicht mehr möglich, aber die Wissenschaftlichkeit einer Sicherheitsaussage garantiert noch nicht die Rationalität der Ingenieurpraxis.

### Literatur

- BECHMANN, GOTTHARD; WOLF, STEFAN 1994. Risiko. Das heiße Eisen der Technikbewertung. In: Deutsches Institut für Fernstudienforschung, Funkkolleg Technik, Studienbrief 2; Tübingen
- BIEGER, K. W., Aufbau und Sicherheitskonzept des EC2, darin Abschnitt 3 Sicherheitskonzept; In: Bieger, K.W. (Hg.) 1993. Stahlbeton- und Spannbetontragwerke nach Eurocode 2; Berlin u. a.
- BUTZ, HEINZ-PETER; HEUSER, FRIEDRICH-WILHELM; MAY, HORST; Reaktorsicherheit. In: Peters, Olaf H., Meyna, Arno (Hg.) 1986; Handbuch der Sicherheitstechnik; Bd. 1
- Deutscher Beton-Verein 1973. Sicherheit von Betonbauten (Tagungsbericht Arbeitstagung Berlin 7./8. Mai 73)
- EKARDT, HANNS-PETER 1978. Entwurfsarbeit. Darmstadt; Diss. D17, TU Darmstadt
- EKARDT, HANNS-PETER 1996. Ingenieurverantwortung und HOAI stehen in tatsächlicher Relation. In: Deutsches Ingenieurblatt; Dez. 1996
- EKARDT, HANNS-PETER 1996a. Technik und Politik beim Bau technischer Infrastruktur. Am Beispiel einer Brückenbaumaßnahme. In: VDI-Report 25, Entscheidungsprozesse im Spannungsverhältnis Technik - Gesellschaft - Politik; Düsseldorf
- EKARDT, HANNS-PETER 1998. Die Stauseebrücke Zeulenroda. Ein Schadensfall und seine Lehren für die Idee der Ingenieurverantwortung. In: Stahlbau 67 (1998), H. 9, S. 735-749
- FERGUSON, EUGENE S. 1993. Das innere Auge. Von der Kunst des Ingenieurs; Basel u. a.
- FOGIB DFG-Forschergruppe 1997. „Ingenieurbauten - Wege zu einer ganzheitlichen Betrachtung“ Uni Stuttgart; Institut für Konstruktion und Entwurf II
- GRUSI BAU 1981. Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen. Hg. v. DIN, NA Bau, Ausschuß „Sicherheit von Bauwerken“, Obmann G. Breitschaft
- HARRIES, HANSPETER 1999. Eine neue Sicherheitstheorie für die Analyse von Tragwerken? In: Roßnagel, A., Rust, I., Manger, D. (Hg.), Technik verantworten; Berlin
- HOFFMANN, KLAUS 1986. Risk Management. In: Peters, Olaf H., Meyna, Arno (Hg.), Handbuch der Sicherheitstechnik; Bd. 2; München, Wien

- KERSKEN-BRADLEY, M. 1992. Unempfindliche Tragwerke - Entwurf und Konstruktion. Hinweise und Erläuterungen des Koordinierungsausschusses Sicherheit des Normenausschusses Bauwesen im DIN. In: Bauingenieur 67, S. 1-5
- KERSKEN-BRADLEY, M., DIAMANTIDES, D. 1986. Sicherheit von Baukonstruktionen, in Peters, O.H., Meyna, A. (Hg.), Handbuch der Sicherheitstechnik, Bd. I, München, Wien
- KINKEL, HORST 1999. Die Rolle von Sonderentwürfen in der Praxis des Brückenbaus. In: Roßnagel, A., Rust, I., Manger, D. (Hg.), Technik verantworten; Berlin
- KIRCHNER, G. 1973. Wo v als Sicherheitsmaßstab nicht ausreicht; In: Deutscher Beton-Verein 1973
- KLINGMÜLLER, O., BOURGUND, U. 1992. Sicherheit und Risiko im konstruktiven Ingenieurbau. Braunschweig
- KNOTHE, KLAUS; BÖHMER, ALEXANDER 1998. Eschede - Bemerkungen zur Dauerfestigkeit von Eisenbahnwaggons. In: Internationales Verkehrswesen (50) 11/98
- KÖNIG, G., HOSSER, D., SCHOBBE, W. 1982. Sicherheitsanforderungen für die Bemessung von baulichen Anlagen nach den Empfehlungen des NA BAU - eine Erläuterung. In: Bauingenieur 57 (1982)
- KROHN, W. 1997. Rekursive Lernprozesse: Experimentelle Praktiken in der Gesellschaft. Das Beispiel der Abfallwirtschaft. In: Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 9; Frankfurt
- KROHN, W., KRÜCKEN, G. 1993. Risiko als Konstruktion und Wirklichkeit. In: dies., Riskante Technologien: Reflexion und Regulation; Frankfurt
- LEONHARDT, FRITZ 1990 (3. Aufl.), Brücken; Stuttgart
- LÖFFLER, REINER 1999. Zur Logik des Arbeitsprozesses. Das Konzept und seine Implikationen. In: Roßnagel, A., Rust, I., Manger, D. (Hg.), Technik verantworten; Berlin
- LUHMANN, NIKLAS 1990. Risiko und Gefahr. In: Luhmann, Niklas, Soziologische Aufklärung 5; S. 131-169
- MACKENSEN, RAINER 1997. Konstruktionshandeln; München, Wien
- MÜHLSCHWEIN, WOLFGANG 1979. Tragwerke als Arbeitsgegenstände von Bauingenieuren; Darmstadt; Diss. D17, TU Darmstadt
- NEUSER, UWE; POTTSCHMIDT, AXEL 1999. Ingenieurpraxis im Zaum oder Zaun des Sicherheitsrechts. In: Roßnagel, A., Rust, I., Manger, D. (Hg.), Technik verantworten; Berlin
- PAHL, GERHARD; BEITZ, WOLFGANG 1977. Konstruktionslehre; Berlin u. a.
- PÖTZL, MICHAEL 1996. Robuste Brücken. Vorschläge zur Erhöhung der ganzheitlichen Qualität. Braunschweig
- PÖTZL, MICHAEL 1996a. Robuste Tragwerke - Vorschläge zu Entwurf und Konstruktion. In: Bauingenieur 71, S. 481-488
- PÖTZL, MICHAEL 1999. Zur ganzheitlichen Betrachtung von Bauwerken - Robustheit als Leitbild beim Entwurf von Brücken. In: Roßnagel, A., Rust, I., Manger, D. (Hg.), Technik verantworten; Berlin

- ROßNAGEL, ALEXANDER 1999. Rechtliche Steuerung von Infrastrukturtechnik. In: Roßnagel, A., Rust, I., Manger, D. (Hg.), Technik verantworten; Berlin
- RÜSCH, H. 1973. Einführung in die Begriffe, Methoden und Aufgaben der Sicherheitstheorie; In: Deutscher Beton-Verein 1973
- RÜSCH, H., RACKWITZ, R. 1972. Die Bedeutung des Begriffs Versagenswahrscheinlichkeit in der Sicherheitstheorie für Bauwerke. In: Entwickeln, Konstruieren, Bauen 1872-1972, Held und Francke Bauaktiengesellschaft, München
- SCHEER, J., PASTERNAK, H., HOFMEISTER, M. 1994. Gebrauchstauglichkeit - (K)ein Problem? In: Bauingenieur 69 (1994), S. 99-106
- SCHLAICH, J., PÖTZL, M. 1993. Zum Entwerfen von robusten Tragwerken. In: Festschrift zum Ehrenkolloquium von Prof. E. Hampe; Weimar
- SCHNEIDER, JÖRG 1996. Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen. Grundwissen für Ingenieure; Zürich, Stuttgart (2. Aufl.)
- SCHWARZ, HEINZ 1977. Sicherheit und Zuverlässigkeit. Restriktionen oder Zielkomponenten der Entwurfsoptimierung? Beitrag zur 2. Internationalen Konferenz über Tragwerksicherheit und Zuverlässigkeit; München
- SIEBKE, H. 1973. Was darf der Bauingenieur von einer neuen Sicherheitstheorie erwarten?; In: Deutscher Beton-Verein 1973

---

Prof. Dr. Hanns-Peter Ekardt  
Belgische Straße 41  
D-34121 Kassel



JOACHIM KLEIN, Braunschweig

## „Die Begriffe Risiko und Gefahr im Recht und in der Technik“ Statement

Hannover, 28. Juni 1999\*

In meinem Statement möchte ich einige Bemerkungen 1. zur Begriffs-Definition und 2. zum Verhältnis von Risiko und Recht mit Blick auf verschiedene Technik-Disziplinen machen.

**1. Gefahr und Risiko** werden häufig unscharf und manchmal sogar als gleichwertige Begriffe verwendet, dies ist jedoch sowohl irreführend als auch unzulässig. **Gefahr** sagt etwas aus über den im Prinzip möglichen Schaden, der mit einem technischen Versagen einhergehen kann. So bestehen also Gefahren grundsätzlich überall, unterschiedlich ist lediglich die Schadenshöhe – die von Geringfügigkeit bis zum Wert Unendlich (Beispiel: der atomare GAU) reichen kann. Die Bemessung dieser Gefahr (oder auch des Gefährdungspotentials) orientiert sich klassischerweise an der Einwirkung auf Gesundheit und Leben des Menschen, muß aber inzwischen viel weitreichender – z.B. mit Blick auf die Umwelt allgemein – erfolgen.

Das **Risiko** ergibt sich, wenn man die Gefahr mit dem Faktor der Eintrittswahrscheinlichkeit verknüpft. Lange Zeit wurde zu dieser Verknüpfung eine Produkt-Regel verwandt:

$$\text{Risiko} = \text{Gefahr} \times \text{Eintrittswahrscheinlichkeit.}$$

Diese Regel ist in weiten Bereichen der Technik durchaus einsichtig und sinnvoll, stößt aber dann an ihre Grenzen, wenn – wie im Falle der Atomtechnik, die mit einem Gefahrenwert von Unendlich verbunden wird – auch eine Multiplikation mit einer noch so kleinen Eintrittswahrscheinlichkeit zu einem Risiko-Wert= Unendlich führt: Danach wäre eine Atomanlage im klassischen Risikoverständnis nicht zulassungsfähig. Hier müssen also neue Gesetze, wie das z.B. mit dem Atomgesetz geschehen ist, den rechtlichen Umgang mit einer neuen Technik regeln. Die Möglichkeit, das Risiko zu quantifizieren, hängt in jedem Fall ab von der Meßbarkeit der Gefahr und der Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit und ist nur im Rahmen der dabei herrschenden Schwankungsbreiten gegeben. Wichtig bei der Quantifizierung des Risikos ist auch die Feststellung des Schutz-Zieles, wobei vom Gefahrenpotential ausgehend eine Betrachtung über das Risiko für den Menschen konzeptionell weit hinausgehen kann.

---

\* Statement abgegeben beim 2. Colloquium der Kommission „Recht und Technik“ der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Der Spiegel-Begriff zu Risiko ist **Sicherheit**. Damit ist Sicherheit auch ein quantitativ variabler Begriff. Dennoch wird mit der Aussage „etwas ist sicher“ häufig gemeint, dass kein Risiko besteht und sogenannter absoluter Verlaß besteht. Noch verwirrender wird die Situation, wenn man das **Restrisiko** als einen Begriff einführt, der sich vom Begriff Risiko nicht nur graduell, sondern qualitativ abhebt und einen eher diffusen Merkposten an Gefährdung in einem praktisch als sicher zu bezeichnenden System darstellt. Aus meiner Sicht schließt der Begriff Risiko logischerweise auch sehr kleine Risiken mit ein und läßt keinen Raum für einen prinzipiell davon absetzbaren Restbereich. Wenn man dazu sinnvollerweise akzeptiert, dass es immer einen Rest an Risiko geben wird, wird auch der Begriff Sicherheit von jedem Absolutheitsanspruch befreit und gibt Raum für Unsicherheiten, die dem restlichen Risiko äquivalent sind. Das Ergebnis der Risikoanalyse ist ein Sicherheitskonzept, das die Grundlage für die Akzeptanz einer Technik in der Gesellschaft bildet.

2. Es bleibt nun verschiedenen Bereichen der Technik vorbehalten, wie sie zum einen mit dem Problem der Definition und Quantifizierung der in Prinzip innewohnenden Gefahren und der Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit umgehen und wie zum anderen dieses Sicherheitskonzept mit dem über das Gemeinwohl wachenden Rechtssystem zum Nutzen des Einzelnen oder der Gesellschaft verknüpft wird.

Lassen wir in diesem Sinne die Entwicklung von Wissenschaft und Technik in den vergangenen 100 Jahren Revue passieren, so hat sich mit Blick auf unsere industrielle und technische Umgebung und auf die damit verbundenen Sicherheits- und Rechtsfragen ein starker Wandel vollzogen. Dabei sind die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Gefahr sowie die mit Ort, Zeit und Umfang eines Versagens verbundenen Risiken zu betrachten.

Grundlage der klassischen Risiko – bzw. Sicherheitsprobleme sind **physikalische** Gesetze der Mechanik, der Wärme- oder der Elektrizitätslehre, wie sie sich in den Nutzungsbereichen des Verkehrs, des Bauens und Wohnens, oder der Wärme- und Elektrizitätsversorgung ausprägen. Ort und Zeitpunkt eines technischen Versagens sind streng lokalisiert und definiert und das Sicherheitsproblem orientiert sich vorrangig, wenn nicht sogar ausschließlich an der Gefährdung von Gesundheit und Leben einer begrenzten Zahl von Menschen, die sich dem Ort und dem Zeitpunkt des Versagens zuordnen lassen. Im Rahmen eines fachlich relativ unspezifischen Rechtssystem, z.B. im Rahmen des BGB, ist es gelungen und gelingt es noch heute, diese physikalisch basierten Sicherheitsfragen rechtlich zu behandeln.

Mit dem Eintritt neuer Technologien in unsere Welt, die eine naturgesetzlich definitiv andersartige Basis besitzen, hat sich das Bild gewandelt. Dies gilt – wenn auch in unterschiedlicher spezifischer Ausprägung - gleichermaßen für Technologien, die auf **chemischen, strahlungsbezogenen und biologischen Prinzipien** beruhen. Damit sind neue Typen von Gefahren und Risiken entstanden und die Schutzzielproblematik hat sich über den Schutz des Menschen auf die belebte und unbelebte Umwelt hinaus, und dies im örtlichen und zeitlichen Horizont, erweitert.

Im Bereich der **Chemischen Technik** geht vom Umgang mit chemisch reaktiven Stoffen der Produktions-Anlage oder mit entsprechenden Wirkstoffen als Produkt am Markt

ein Gefährdungspotential aus, das aber nicht nur den Menschen, sondern die gesamte Umwelt betreffen kann. Im Falle des Betriebes einer chemischen Anlage ist der Ort und der Zeitpunkt des technischen Versagens definiert, die Auswirkung auf Mensch und Umwelt können jedoch ein breites, schwer zu definierendes geographisches Umfeld erfassen und sich im Zeithorizont weit über den Schadensursprung hinaus erstrecken. Der sogenannte Seveso-Unfall ist dafür ein immer wieder zitiertes Beispiel. Auch die Altlastenproblematik an Industriestandorten ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen. Neue Wissenschaftsdisziplinen wie die Toxikologie und die Okotoxikologie leisten entscheidende Beiträge zur Erarbeitung von Sicherheitskonzepten. Auf der Seite des Rechts sind mit dem Bundesmissionsschutz-Gesetz und dem Chemikaliengesetz spezifische Regelungen für den sicheren Umgang mit Anlagen und Produkten geschaffen worden.

Die **Kernenergie-Technik** ist im Rahmen von Diskussionen zur Risiko-Problematik so häufig behandelt worden, dass ich mich hier auf die Erwähnung beschränken kann mit dem Hinweis auf die Tatsache, dass auch hier ein neues Gesetz, nämlich das Atomgesetz, notwendig wurde, um den Umgang mit dieser Technik zu regeln. Dass die Frage der Akzeptanz des atomaren Risikos damit aber nicht gelöst wurde, wird durch die nie zur Ruhe kommende Diskussion im politischen und öffentlichen Raum deutlich.

Mit der Entwicklung der **Gentechnik** in den vergangenen 30 Jahren sind auch die **biologischen** Risiken Bestandteil unserer technischen Umwelt geworden. Das Problem dieses biologischen Gefährdungspotentials ist vorwiegend mit der Frage verbunden, ob und wie sich die räumliche und zeitliche Ausbreitung einer durch Genetik veränderten biologischen Funktion kontrollieren und eingrenzen läßt. Im Prinzip ist eine Gefährdung bzw. ein ungewollter Einfluß mit globaler geographischer Dimension und unbefristetem zeitlichen Horizont nicht auszuschließen. Wie der Umgang mit der industriellen Biotechnologie oder mit pathogenen Organismen in der Medizin zeigt, ist man durchaus in der Lage, mit biologischen Gefahrstoffen umzugehen, aber die Ausbreitung des AIDS-Virus – auch wenn seine Entstehung nicht gentechnischen Ursprungs ist – spricht eine andere Sprache. Von aktueller Bedeutung aus der Sicht der Politik, der Industrie und des Konsumenten ist die Biotechnologie der Pflanzen, was sich am Beispiel der Einfuhr genetisch modifizierter Soja-Produkte ablesen läßt.

Es gehört zur Ehrlichkeit im Umgang mit der Gentechnik – sei es im Bereich der Mikrobiologie, der Human-Medizin oder der Pflanzenzüchtung – dass die Wissenschaft und Technik viel Neuland betritt und dass angesichts dieses Nicht-wissens über eventuelle schädliche Folgen eine Abwägung von Chancen gegenüber dem Risiko erfolgen muß. Basis dieser Risiko-Betrachtungen sind neben den inzwischen schon weitreichenden Erfahrungen auch theoretische Abschätzungen, die allerdings nur auf dem bisherigen Wissensstand und insoweit auf begrenzter Einsicht beruhen. Zur politischen Bewältigung dieser Grundsatzfragen hat eine Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages Entscheidendes beigetragen und die Grundlage für die Verabschiedung des Gentechnik-Gesetzes geschaffen. Dieses Gesetz nimmt in einem sehr weiten Umfang – und das erachte ich in der technikbezogenen Gesetzgebung als grundsätzlich neu – das Vorsorgeprinzip in Anspruch als (vorläufiger) Ersatz für eine wissenbasierte Risikoanalyse.

Das Bundesimmissionsschutzgesetz, das Chemikaliengesetz, das Atomgesetz und das Gentechnikgesetz sind also neue rechtliche Rahmenbedingungen, angepaßt an neue naturwissenschaftliche Impulse für unsere technische Welt.

---

Prof. Dr. Joachim Klein  
Lehrstuhl für Makromolekulare Chemie  
Technische Universität Braunschweig  
Hans-Sommer-Str. 10  
D-38106 Braunschweig



MANFRED LINDMAYER, Braunschweig

## Bemerkungen zum Stichwort "Risiko" aus der Sicht eines Elektroingenieurs

Hannover, 28. Juni 1999\*

### 1. Völlig unterschiedliche Bewertung verschiedener Risiken durch die Gesellschaft und damit durch Gesetzgeber und Behörden.

Die Bewertung steht oft in krassem Mißverhältnis zu quantifizierbaren Vergleichswerten, wie sie entweder aus Schadensstatistiken bekannt sind, oder von Fachleuten unter bestem Wissen und Gewissen unter Zugrundelegung von Schadensszenarien prognostiziert werden. Ein Grund dürfte u.a. darin liegen, daß ein sehr unwahrscheinliches Ereignis mit voraussichtlich sehr hohem Schadensausmaß als eine weit größere Bedrohung empfunden wird als ein weit häufigeres Ereignis mit relativ begrenztem Schaden, von dem man vielleicht auch noch glaubt, es durch persönliches Verhalten beeinflussen zu können. (Nachfolgende Zitate aus K. Heinloth, „Die Energiefrage“, Vieweg 1997).

*Die Wahrscheinlichkeit für einen „größten anzunehmenden Unfall“ (GAU) beläuft sich*

für einen Unfall der derzeit 20 LWR* in Deutschland (moderne LWR*)	{ auf <i>einmal</i> innerhalb eines Zeitraums von etwa 50.000 Jahren
für einen Unfall der derzeit ca. 330 LWR* <i>weltweit</i> (diese als moderne LWR* betrachtet)	{ auf <i>einmal</i> innerhalb eines Zeitraums von etwa 3.000 Jahren

\* LWR = Leichtwasser-Reaktor

#### Bilanz von Verkehrsunfällen in Deutschland im Jahr 1993

ca. 400.000	Unfälle mit Personenschaden dabei
ca. 130.000	Schwerverletzte und
ca. 10.000	Tote

Daraus resultiert für jeden Bundesbürger im statistischen Mittel

- ein Risiko von ca. 10 Prozent,  
während seines Lebens einmal bei einem Autounfall schwer verletzt zu werden
- ein Risiko von ca. 1 Prozent,  
durch einen Autounfall vorzeitig zu Tode zu kommen

\* Bemerkungen zum 2. Colloquium der Kommission „Recht und Technik“ der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Würde das Auto erst heute erfunden, müßte dann vor der Freigabe als Verkehrsmittel von technischen und politischen Behörden hinsichtlich der Sicherheit für den Menschen überprüft werden, es hätte bei einer rationalen Beurteilung heute *keine* Chance, als Verkehrsmittel zugelassen zu werden.

#### **Andere Beispiele:**

Bewertung des Risikos für Bahnfahrten im Vergleich zum Auto nach der ICE-Katastrophe in Eschede.

Vermeintliche Gefahren des „Elektrosmogs“ in der Nähe von Hochspannungsleitungen und -kabeln. Trotzdem in zahlreichen Studien kein Zusammenhang zwischen den Feldern dieser Leitungen und Krankheiten nachgewiesen wurde, wird von einschlägig interessierten Steiten eine vermeintliche Gefahr im Bewußtsein der verunsicherten Öffentlichkeit gehalten.

### **2. Risiken, die der Ingenieur, Konstrukteur u.s.w. bei seiner Berufsarbeit eingeht**

Heutige Randbedingungen bei der Entwicklung von Produkten und Verfahren sind Verkürzung der Entwicklungszyklen, erhöhter Zeit- und Kostendruck, Notwendigkeit zu Entscheidungen zu Zeitpunkten, wo Machbarkeit noch nicht bis in sämtliche Details geklärt ist. Dem stehen in Gesetzgebung und Rechtssprechung ständig steigende Anforderungen hinsichtlich Produkthaftung entgegen. Besonders krasse Fälle sind aus der USA bekannt, von wo wegen der Weltmarkt-Bedeutung de facto die Normen in dieser Hinsicht gesetzt werden. Der Ingenieur ist damit bei seiner täglichen Arbeit einem hohen Risiko ausgesetzt.

---

Prof. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer  
Am Papenholz 15  
D-38104 Braunschweig

PETER SALJE, Hannover

## Risikoaaspekte umweltgefährlicher Anlagen

Hannover, 28.06.1999

Aus umweltrechtlicher Sicht sollen Risiken von gefährlichen Anlagen insbesondere unter drei Aspekten, nämlich dem **Zeitfaktor**, der **Haftungsproblematik** sowie dem **Zusammenhang** von Haftung und strafrechtlicher Verantwortung beleuchtet werden.

### I. Zeitlich beschränkte Anlagengenehmigung

Risikobetrachtungen gehen insbesondere im Rahmen der Genehmigung von Anlagen von deren Neuwertigkeit aus. Die **Obsoleszenz** derartiger Anlagen wird viel zu wenig berücksichtigt und führt einerseits dazu, daß der inzwischen fortgeschrittene Stand von Wissenschaft und/oder Technik (naturgemäß) nicht mehr eingehalten werden kann, andererseits die Folgen von Abnutzungserscheinungen der Anlage und ihrer Bestandteile spürbar werden und das Risiko sowie Gefahrenpotential steigern.

Der fortwährend bestehende Zielkonflikt tritt dann um so deutlicher zutage: Das verständliche Sicherheitsstreben der Bürger – zu jeder Zeit und unabhängig vom Alter der Anlage – kollidiert mit der Sicht der Unternehmen, die eine einmal in der Vergangenheit getätigte Investition möglichst lange rentierbar halten wollen. Die Problematik manifestiert sich derzeit im Streit um die Restlaufzeit der Atomkraftwerke.

Einen **Ausgleich der gegenläufigen Interessen** von Bevölkerung und Unternehmen sieht § 17 BImSchG grundsätzlich vor. Danach sollen sog. nachträgliche Anordnungen getroffen werden, wenn Allgemeinheit oder Nachbarschaft nicht ausreichend vor schädlichen Umwelteinwirkungen oder sonstigen Gefahren, erheblichen Nachteilen bzw. Belästigungen geschützt sind. Steht aber der mit der Erfüllung der Anordnung verbundene Aufwand außer Verhältnis zum mit der Anordnung angestrebten Erfolg (Verhältnismäßigkeitsgrundsatz), darf die nachträgliche Anordnung nicht getroffen werden, § 17 Abs. 2 BImSchG. Hier manifestiert sich der Bestandsschutz, wobei klare Anweisungen fehlen, wie etwa zu befürchtende Gesundheitsgefahren und deren finanzielles Äquivalent zu erfassen sind.

De lege ferenda ist an **Beschränkungen der Anlagengenehmigung in zeitlicher Hinsicht** zu denken; man könnte von einer „sunset-Genehmigung“ sprechen. Die Genehmigung würde in diesem Fall nur für einen Zeitraum erteilt, der unabdingbar erforderlich ist, um die getätigten Investitionen abschreiben zu können. Dieser Maßstab berücksichtigt den Zyklus bis zum Erreichen der prognostizierten Gewinnschwelle. Die Kalkulation müßte allerdings nachgeprüft werden, weil Unternehmen naturgemäß versuchen werden, das

---

\* Vortrag gehalten beim 2. Colloquium der Kommission „Recht und Technik“ der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Erreichen der Gewinnschwelle auf einen sehr späten Zeitpunkt zu verlegen. Für bestimmte branchentypische Anlagen lassen sich aber im Laufe der Zeit Erfahrungszeiträume gewinnen; im Zweifel sollte für den Schutz der Bevölkerung (im Lichte des dann realisierten technischen Fortschritts) entschieden werden. Nach Ablauf des Genehmigungszeitraumes ist dann eine neue Genehmigung erforderlich, die zeitnah den realisierten Stand von Wissenschaft und/oder Technik nachvollzieht.

Zu prüfen ist auch, ob derartige sunset-Genehmigungen bereits nach geltendem Recht im Lichte des Verwaltungsverfahrenrechts realisierbar sind. Man könnte daran denken, durch entsprechende Auflagen im Genehmigungsbescheid, die auf eine „kontinuierliche Nachrüstung“ der Anlage gerichtet sind, bereits jetzt einen vergleichbaren Rechtszustand zu realisieren. Dabei handelt es sich um eine Art „Vorab-Nachrüstung“ mit Rücksicht auf den dann geltenden Stand der Technik. Weil unter Berücksichtigung eines zwischen 5 und 15 Jahren liegenden Investitionszyklus ca. die Hälfte aller in Betrieb befindlichen umweltgefährlichen Anlagen den Stand der Technik von vor sechs bis acht Jahren repräsentieren dürften, handelt es sich um eine nicht gering zu schätzende Problematik. Der Schutz der Bevölkerung vor Gesundheitsgefahren und Beeinträchtigungen der Wohnnutzung muß schon wegen Art. 2 Abs. 2 GG den Vorrang vor Investitionssicherheit der Unternehmen beanspruchen können.

## II. Umwelthaftungsgesetz

Nach § 1 UmweltHG umfaßt die Umwelthaftung ohne Verschulden nur solche Anlagen, die in einem Katalog zum Gesetz enthalten sind (im folgenden: umweltgefährliche Anlagen). Dieser Anlagenkatalog ist aus der IV. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz entwickelt worden, die in Spalte 1 die nach §§ 4 ff. BImSchG genehmigungsbedürftigen Anlagen aufführt.

Obwohl die unterschiedliche Gesetzgebungstechnik – hier Rechtsverordnung, dort Gesetzesanlage und damit Gesetzesbestandteil – angesichts der im wesentlichen sachgleichen Materie zunächst nur als Äußerlichkeit erscheinen mag, hat sich inzwischen herausgestellt, daß die gesetzgeberische Konzeption zum Umwelthaftungsgesetz in Wirklichkeit einen gravierenden Nachteil beinhaltet: Während Rechtsverordnungen wie die IV. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz erleichtert geändert werden können (Exekutive mit Zustimmung des Bundesrates), bedarf jede Änderung des Anlagenkataloges zum UmweltHG der Zustimmung des Parlaments. Daraus hat sich bereits nach Ablauf von fünf Jahren eine nicht unerhebliche Divergenz zwischen dem Katalog genehmigungsbedürftiger Anlagen und den der Umweltgefährdungshaftung unterliegenden Anlagen entwickelt. Sieht man einmal von der zusätzlichen Problematik ab, ob Genehmigungsbedürftigkeit und Haftungsveranschärfung notwendig einheitlichen Grundsätzen folgen müssen, besteht die Gefahr, daß eine Weiterentwicklung des Anlagenkataloges zum Umwelthaftungsgesetz nicht mehr stattfindet. Die Divergenz zwischen den Rechtsvorschriften führt auch zu möglichen Verstößen gegen den Gleichheitsgrundsatz des Art. 3 Abs. 1 GG. Neue Gefahren aus neu entwickelten Anlagen werden vom Gesetzgeber möglicherweise gar nicht bemerkt, jedenfalls nicht vom Gesetz erfaßt.

Deshalb sollte die Anlage 1 zum UmweltHG durch eine Generalklausel ergänzt werden, die „sonstige Anlagen“ umfaßt, die unter Berücksichtigung ihres Gefahrenpotentials den übrigen im Katalog aufgeführten Anlagen gleichstehen, wobei der Gesetzgeber bestimmte Gefährintensitäten festlegen könnte. Oder aber die Ergänzung der Liste würde auf den Richter übertragen, wenn der Verweis auf den Anlagenkatalog, wie er derzeit in § 1 UmweltHG vorgesehen wurde, durch eine Generalklausel ersetzt wird. Die derzeitige Rechtslage ist jedenfalls unbefriedigend.

### III. Risiko, Haftung und Verantwortung

Die zivilrechtlichen und strafrechtlichen Sanktionen müssen abhängig von der realisierten Gefahr flexibel eingreifen können. Wenn höherwertige Rechtsgüter wie Leben oder Gesundheit potentiell geschädigt werden, muß um so eher für die bloße Verursachung des Schadens gehaftet werden. Die strafrechtliche Verantwortung kann ohnehin nur auf Vorwerfbarkeit (Verschulden) gestützt werden. Dabei ist es wichtig festzuhalten, daß die Prognosen sowohl des Schadensersatzrechts als auch des Strafrechts letztlich immer auf einer ex post-Betrachtung beruhen werden und wohl auch beruhen müssen. Jedem Betreiber umweltgefährlicher Anlagen ist aber zuzumuten, bei Errichtung und Betrieb der Anlage jeweils **in Alternativen zu denken**. Es muß also quasi jeden Tag neu darüber nachgedacht werden, ob nicht eine noch sicherere Technik oder eine noch ungefährlichere Handhabung der Anlage technisch möglich und auch wirtschaftlich zumutbar erscheint. Nur wenn diese Frage zu verneinen ist, kann der Anlageninhaber darauf vertrauen, die ihm obliegenden Verkehrspflichten nicht zu verletzen und damit nicht bereits nach den Grundsätzen der unerlaubten Handlung (§§ 823 ff. BGB) schadensersatzpflichtig zu werden.

Damit ist der Risikosteuerung durch schadensrechtliche Sanktionen eine gewisse ökonomische Begrenzung eigen, weil dem Anlageninhaber wirtschaftlich Unzumutbares nicht abverlangt wird. Es muß ihm aber klar sein, daß diese Verantwortungsschwelle immer dann niedrig liegt, wenn Personenschäden zu befürchten sind. Deshalb müssen die Betreiber von Anlagen, die nicht oder noch nicht zum Katalog des Umwelthaftungsgesetzes gehören, darauf achten, diese Verantwortungsschwelle möglichst zu unterschreiten. Allem Anschein nach haben hier die Umwelthaftpflichtversicherungen Segensreiches bewirkt, indem sie zwecks Risikovermeidung von vornherein nur solche Anlagen versichert haben, bei denen das Risiko als vertretbar erschien. Diese „Steuerung im Vorfeld der Gefahr“ erscheint als weit wirksamer als diejenige über nachträgliche Sanktionen wie Schadensersatz, Geld- und Freiheitsstrafen. Man kann daher davon ausgehen, daß die bloße Existenz des Umwelthaftungsgesetzes i. V. mit schadensvermeidenden Aktivitäten der Versicherer viel zum Schutze umweltsensibler Rechtsgüter bewirkt haben.

---

Prof. Dr. Dr. Peter Salje  
Universität Hannover · Fachbereich Rechtswissenschaften  
Lehrgebiet für Zivilrecht und Recht der Wirtschaft  
Königsworther Platz 1  
D-30167 Hannover



J. SCHEER, Hannover

## Die Begriffe Risiko und Gefahr im Recht und in der Technik Statement

Hannover, 28. Juni 1999\*

Für mich sind *Risiko* und *Gefahr* zunächst – nicht nur aus sprachlicher Sicht – weitgehend dasselbe:

Ich riskiere etwas = Ich tue etwas, was mit Gefahr verbunden ist.

Hierher gehört für mich auch der Begriff *Wagnis*, denn ich kann meine Gleichsetzung ergänzen:

= Ich wage etwas.

Vielleicht hat sich bei den Bauingenieuren unbewußt eine graduelle Unterscheidung eingebürgert, die sich mit der von F.-J. Peine aus juristischer Sicht beschriebenen mit Ausnahme des Begriffes *Restrisiko* deckt

Gefahr: die Wahrscheinlichkeit eines Schadens ist groß

Risiko: die Wahrscheinlichkeit eines Schadens ist klein

Mir als Ingenieur ist dagegen der von Juristen benutzte Begriff "Restrisiko" aus verschiedenen Gründen fragwürdig:

- Was soll das sein, Rest von was?
- Wenn Risiko mit Wahrscheinlichkeit zu tun hat, gibt es keinen Rest.
- Vom Risiko kann das Restrisiko doch nur graduell, aber nicht prinzipiell abgegrenzt werden. Man kann nur sagen, daß beim sogenannten Restrisiko die Wahrscheinlichkeit eines Schaden oder Versagens kleiner als beim Risiko, also äußerst klein ist.

M.E. müssen wir zwei miteinander zusammenhängende Betrachtungen hinzunehmen:

- Die eine geht um die Frage des Risikobewußtseins,
- die andere darum, ob wir Gefahr und Risiko mit Wahrscheinlichkeitsüberlegungen immer, nur zum Teil oder überhaupt nicht erfassen können. Damit könnten wir die obige Graduierung etwa wie folgt formulieren:

Gefahr: die Möglichkeiten eines Schadens oder Versagens sind uns bewußt, wir können uns in Szenarios Versagen vorstellen. Gleichzeitig ist

- entweder die Versagenswahrscheinlichkeit infolge der Streuung der Einflußgrößen auf das Tragwerksverhalten groß oder
- ein grober Fehler - z.B. im Werkstoff, in der Verarbeitung, bei der Montage kann große Folgen haben und Versagen verursachen.

---

\* Statement abgegeben beim 2. Colloquium der Kommission „Recht und Technik“ der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

In diesem Fall können und müssen wir etwas zur Gefahrenabwehr tun.

Ein Beispiel aus dem konstruktiven Ingenieurbau:

Für Bauzustände, deren außergewöhnliche Gefahr uns bewußt ist, sorgen wir durch besondere Vorkehrungen dafür, daß Menschen nicht gefährdet sind. Das Risiko für einen Sachschaden nehmen wir bewußt in Kauf. Bekannt sind u.a. folgende Beispiele:

- Das Verbot des Aufenthaltes von Menschen unter schwebenden Lasten
- Die Montage von oberirdischen Flüssigkeitsbehältern, für die wir die Kosten für Montagezustände, die jedem Starkwind standhalten, unter Inkaufnahme einer Schadensquote sparen.

Risiko: Wegen Restriktionen für unser Handeln (z.B. Entwurf, Fertigung, Montage) sind uns Möglichkeiten eines Schadens nicht bewußt. Gleichzeitig ist

- die Wahrscheinlichkeit eines Schadens infolge der Streuung von Einflußgrößen auf das Tragverhalten hinnehmbar klein; und
- einen groben Fehler – z.B. im Werkstoff, in der Verarbeitung, bei der Montage – mit großen Folgen halten wir durch Kontrollen für ausgeschlossen. Wir sind überzeugt, daß wir durch Restriktionen, z.B. in Baubestimmungen, dort z.B. durch Regeln für Lastansätze, zur Sicherung von Werkstoffeigenschaften, für die Ausnutzung der Festigkeiten von Baustoffen und durch Regeln, mit denen wir gefährliche Konstruktionen ausschließen, durch Kontrollen usw. genug für Gefahrenabwehr getan haben.

Für den Begriff *Restrisiko* bleibt für mich hier kein Platz. Es geht nur darum, daß wir die Restriktionen z.B. durch die Erfüllung einer kleineren Versagenswahrscheinlichkeit und durch umfangreichere und schärfere Kontrollen ausdehnen..

Abschließend zwei Bemerkungen:

- Mir scheint ein nicht zu unterschätzendes Risiko oder eine nicht zu unterschätzende Gefahr für unsere Ingenieuritätigkeit darin zu liegen, daß wir den **Anspruch** auf absolute Sicherheit – wohl wissend, daß wir ihn nicht erfüllen können – mit der Einführung des Begriffes der Zuverlässigkeit aufgegeben haben. Denn Zuverlässigkeit ist immer etwas Relatives.

Daher fordert Erhard Hampe in seiner Arbeit “*Von der unsicheren Sicherheit zur sicheren Unsicherheit*” (Bautechnik 66(1989) 329-335) m.E. völlig berechtigt u.a.:

- “Die Entscheidungskriterien sind von den ”(ich ergänze: bei Zuverlässigkeitsberechnungen) faktorisierten Parametern zu den (ich ergänze: bei Sicherheitsbetrachtungen) urteilsorientierten Überlegungen (ich ergänze: zurück-) zu verlagern
- Die Rückkehr zur erfahrungsgestützten Ingenieuritätigkeit ist zu sichern.”



Meine zweite Bemerkung betrifft den Begriff der **Kühnheit**: Gern wird gesagt, der Ingenieur XY sei ein besonders kühner Ingenieur gewesen.

Was kann das bedeuten?

- Waren mit seinen Entwürfen und seinen Realisierungen größere Gefahren verbunden als üblich? Wer hat ihn berechtigt, damit andere zu gefährden? Und meint man nicht, daß der kühne Ingenieur das alles bewußt gemacht hat?
- Für mich ist bei der Charakterisierung eines Ingenieurs der Begriff *kühn* keine Auszeichnung. Ich weiß nicht, warum wir dann – unabhängig von dem, was er gebaut und wobei er Glück gehabt hat – nicht leichtsinnig sagen.

---

Prof. em. Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h. Joachim Scheer  
Wartheweg 20  
D-30559 Hannover



WERNER THIEME, Hamburg

## Bericht über die Aussprache des Colloquiums der Kommission „Recht und Technik“

Hannover, 28. Juni 1999

Der nachfolgende Bericht ist nicht nur - wie im Vorwort erwähnt - keine wörtliche Wiedergabe der Diskussion, nicht einmal ein Bericht, der in zeitlicher Reihenfolge die Diskussionsbemerkungen darstellt. Die Kommission hat im Interesse der Sache in zweifacher Weise versucht, die Diskussionsergebnisse für Leser, die nicht an dem Colloquium teilgenommen haben, durch Aufbereitung zugänglicher zu machen. Sie hat den Entwurf des Berichts an die Diskussionsteilnehmer versandt und nicht nur um Korrektur sachlich unrichtiger oder mißverständlicher Teils des Berichtes gebeten, sondern auch um Erweiterungen des ursprünglich Gesagten, damit noch mehr Aussagen zu den Problemen hinzukommen. Nach Eingang der erbetenen Bemerkungen ist der Versuch gemacht worden, alle Diskussionsbeiträge thematisch zu ordnen. Zweck dieses Verfahrens war es, den Diskussionsstand exakter fest- und darstellen zu können. Damit ist zugleich der Versuch unternommen worden, durch eine – wenn auch ganz vorläufige und zweifellos lückenhafte – Bilanz eine Grundlage für die weitere Arbeit der Kommission zu schaffen.

### 1. Themenbereich: Die Sprache des Ingenieurs und des Juristen

In der Diskussion tauchte – nicht überraschend – mehrfach die Frage des gegenseitigen Verständnisses, der Fachsprachen von Juristen und Ingenieuren auf.

**Schulz** meinte, Juristen und Ingenieure sprächen unterschiedliche Sprachen. Der Jurist verfüge über die für die Formulierung gesellschaftlicher Regeln verbindliche Sprache. Um bei der Diskussion über die Schaffung von gesellschaftlichen Regeln, bzw. bei deren Auslegung mitreden zu können, müßten sich die Ingenieure daher der Sprache der Juristen anpassen. Ein Beispiel für eine abweichende Bedeutung ist das modale Hilfsverb „soll“, welches in der Sprache der Juristen in der Regel eine Verpflichtung zum Ausdruck bringt, von der nur in Ausnahmefällen abgesehen werden kann.

**Peine** meinte – Widerspruch zu Schulz – daß der Jurist nicht durch seine Sprache herrschen dürfe. Der Jurist solle im Verhältnis zum Ingenieur nicht der Herrscher sein. Die Sprache des Juristen sei ein Angebot, nicht mehr.

**Peine** stellte fest, die Probleme seien heute so kompliziert geworden, daß die Normen nicht verstanden würden. Das hänge aber weitgehend an den Lebenssachverhalten, die selbst zu kompliziert seien. Angesichts dieser Tatsache könne der Jurist für sich nicht in Anspruch nehmen, selbst zu urteilen, ob die Angehörigen anderer Berufe mit ihren Aussagen recht hätten.

**Siebke** vertiefte das Gespräch durch seine Bemerkung, in der Auseinandersetzung um das Gemeinte in der Sprache der Juristen und der Ingenieure sollte die Unterscheidung von

„Benennung“ und „Definition“ beachtet werden, wie das bei der Gestaltung nationaler und internationaler technischer Normen gefordert ist (z. B. ISO/IEC DIRECTIVES PART 3).

**Thieme** wies hinsichtlich der Sprache des Rechts darauf hin, daß es sich auch nicht um eine einheitliche Sprache handele. Das Recht werde von zwei Berufsständen angewandt, die eine sehr unterschiedliche Ausbildung haben. Den Rechtspflegern sei der Umgang mit denjenigen Normen übergeben, die genauer definiert seien. Den Richtern seien Normen mit Generalklauseln und Allgemeinbegriffen übergeben, die sie zwar subjektiv, aber auf dem Hintergrund einer vertieften sozialwissenschaftlichen und ökonomischen Ausbildung zu handhaben hätten.

Zur Frage, wer die Normen mache und sie daher auch sprachlich präge, wies **Schulz** darauf hin, daß das Parlament die Begriffe in technischen Normen, die auf einer Zusammenarbeit zwischen den Juristen und den Ingenieuren beruhten, zuweilen nicht verstehe und dadurch Begriffe in die Normen einflößen, die praktisch nur mißverstanden werden könnten. Er nannte die „Standssicherheit“ als Beispiel hierfür. Dies sei ein Begriff, der – einmal in die gesetzlichen Vorschriften eingegangen – nicht mehr mit dem Verständnis der Ingenieure interpretiert werden dürfe, sondern eine andere Bedeutung erhalte.

Trotz dieser Problematik vertrat **Schulz** die Meinung, daß die Formulierung gesetzlicher Regelungen, auch wenn sie technische Sachverhalte ansprechen, in der Sprache des Juristen erfolge. Jedoch sei bei der Formulierung der Normen und bei der Auslegung eine vom gegenseitigen Respekt getragene Haltung der beiden beteiligten Disziplinen erforderlich.

**Peine** betonte, daß es ihn nicht verwundere, daß die Begriffe zwischen den Juristen und den Ingenieuren auseinander drifteten. Es handele sich um zwei Fachsprachen, bei denen keine Begriffsidentität zu erwarten sei. Er stellte die Forderung auf, es sollte der Versuch gemacht werden, im Gespräch eine gemeinsame Sprache zu finden. Er hielt dies trotz aller Schwierigkeiten für möglich.

## 2. Themenbereich: Begriffliches

Entsprechend dem Tagungsthema hatten sich die Referenten mit den Begriffen Gefahr und Risiko auseinander gesetzt. Dieses Thema war mehrfach Gegenstand von Diskussionsbemerkungen. Allerdings zeigten sich gerade hier Diskrepanzen und ungelöste Fragen.

**Ahrens** wies darauf hin, daß die Begriff „Gefahr“ und „Risiko“ in der zivilrechtlichen Rechtsprechung nicht mehr für die Differenzierung der Grade der Gefahr benutzt würden. An ihre Stelle seien der Begriff „Vertretbarkeit“ getreten. Als Beispiel nannte er die Arzneimittel mit ihren Nebenwirkungen. Erforderlich sei die Abwägung der Risiken. Der Jurist treffe die Vertretbarkeitsentscheidung im Hinblick auf die Größe der Gefahr.

**Siebke** hielt es dagegen für notwendig, zwischen den Begriffen „Risiko“ und „Gefahr“ zu unterscheiden. Der Ingenieur solle Sicherheit produzieren, indem er erkannte Risiken vermeidet. Besondere Obacht sei geboten, wenn Menschenleben durch technische Gefahren bedroht werden. Für den Wert eines Menschenlebens ließe sich keine ethisch vertretbare betriebswirtschaftliche Bewertung treffen. Wohl aber ließe sich der zumutbare Aufwand für die Rettung eines Menschenlebens aus dem gesellschaftlichen Konsens ablesen und für juristisches Bewerten und ingenieurmäßiges Handeln beachten.

Ferner führte **Siebke** aus, wir seien in der heutigen Gesellschaft „Aufklärungsgeschädigte“. Juristisches Urteilen und ingenieurmäßiges Handeln der Jetztzeit beruhten weitgehend auf dem Erkenntnisgewinn der Aufklärung: Es gibt keine Wirkung ohne Ursache und umgekehrt. Jeder Ursache folgt eine Wirkung. Nur die Eindeutigkeit des Zusammenhangs von Ursache und Wirkung ermöglicht es dem Ingenieur, einen Motor zu bauen und seine Leistung vorherzusagen. Der Jurist geht bei seinem Urteil ebenfalls von Ursache und Wirkung aus, wenn zwischen einem Pistolenschuß und einem Loch ein Zusammenhang besteht. Aber schon diese einfachen Fälle zeigen, daß es im unmittelbaren Umfeld Nebenursachen und Nebenwirkungen gibt, die zu berücksichtigen sind. Weiter ab vom Unmittelbaren aber zerfasern sich Teilursachen und Teilwirkungen in ein für menschliche Einsicht unentwirrbares Knäuel. Dies sollte bei der Auseinandersetzung um das „Risiko“ zu einer gewissen Bescheidenheit im Technischen wie im Rechtlichen führen.

**Nölke** ging auf einen Einzelbegriff ein, die „mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit“, und befragte die Juristen, wie dieser Begriff nach ihrer Ansicht auszulegen sei.

**Thieme** antwortete, daß dieser Begriff wie alle anderen juristischen Begriffe versucht, mit sprachlichen Mitteln Tatsachen und Zustände der realen Welt abzubilden. An die Stelle der mathematischen Berechnungen setze der Jurist Worte, die sinnbehaftet sind und aus ihrem Wortsinn verstanden und eingesetzt werden müßten, ohne daß eine exakte Beschreibung (Definition) eines solchen Begriffes möglich sei oder überhaupt angestrebt werde.

**Eckardt** hielt den Begriff der absoluten Sicherheit für irreführend. Eine absolute Sicherheit gebe es nicht. Daher sei auch der Begriff des „Restrisikos“ nicht brauchbar. Er sprach vom „Abstandsmaß“ als brauchbaren Ansatzpunkt für die Risikobewertung.

**Scheer** sprach die Sorge aus, daß Ingenieure mit der Einführung des Begriffes der „Zuverlässigkeit“ und der ihnen damit bewußt gewordenen Tatsache, daß es absolute Sicherheit nicht gibt, ihren Anspruch, dennoch sicher bauen zu wollen, aufgeben könnten. Er sah sehr wohl den Widerspruch zwischen Anspruch und Wirklichkeit, hielt es aber für gefährlich, wenn Ingenieure ihr Handeln nicht mehr von diesem Anspruch leiten lassen.

**Eckardt** führte zum Begriff der „Robustheit“ aus, die Forderung nach Robustheit dürfe nicht zur Verschärfung der mathematischen Sicherheitsanalyse führen und deren Ergebnisse verändern.

### 3. Themenbereich: Die Schaffung der Sicherheitsnormen

Im Mittelpunkt der Diskussion standen nicht theoretisch-begriffliche, sondern mehr praktische Fragen. Dabei ging es vor allem um die Regelungen, die getroffen worden sind oder getroffen werden, um Risiken und Gefahren auszuschließen, zu verringern oder auf einen gewünschten Stand festzulegen. Hierbei ging es den meisten Diskussionsteilnehmern um die Produktion der einschlägigen Regelungen.

**Siebke** wandte sich der Frage nach der Sicherheitsbestimmung durch mathematisch-statistische Berechnungen zu und führte dazu aus:

Beim Vorgehen zur Risikominderung, wie es das Ziel des ingenieurmäßigen Handelns in vielen Fällen ist, und wenn das Risiko als wahrscheinlichkeitstheoretische Größe (Wahr-

scheinlichkeit des Eintretens des Ereignisses multipliziert mit der Höhe des verursachten Schadens) definiert ist, ist zu berücksichtigen, daß jede Maßnahme, die ein vorgegebenes Risiko reduziert, für die folgende Maßnahme eine andere Risikohöhe zur Folge hat. Das heißt, eine Anzahl von  $n$  Maßnahmen, die jede das Risiko um  $x\%$  senken würde, ergeben zusammen als Paket nicht eine Reduktion von  $n \cdot x\%$ , die Gesamtreduktion fällt vielmehr geringer aus. Damit kommen die Kosten für die Maßnahme ins Spiel. Es ist sinnvoll, die preisgünstigen Maßnahmen gegenüber den technisch anspruchsvollen nicht zu vernachlässigen, sondern an die erste Stelle zu setzen. Dies können z. B. rein organisatorische Regelungen mit großem Nutzen bei geringem Aufwand sein. Nach wahrscheinlichkeitstheoretischen Gesetzmäßigkeiten ist das optimale Gesamtpaket an vorsorglichen Maßnahmen zu ermitteln. Nach diesem Konzept wurden die Sicherheitsvorkehrungen für die Tunnel der Neubaustrecken der Deutschen Bahn bewertet und realisiert.

Dieser Hinweis erschien ihm wichtig, da bei der Risikobewertung das Risiko oft wie eine arithmetische Größe behandelt wird, statt wie eine wahrscheinlichkeitstheoretische Funktion, die zur brauchbaren Kennzeichnung mindestens die drei ersten Momente benötigt: Erwartungswert, Streuung und Schiefe. Darum ergibt sich die Summe oder Differenz von Risiken aus der wahrscheinlichkeitstheoretischen Prozedur der „Faltung“ und nicht der arithmetischen Addition einzelner Parameter. Dies ist der Grund, warum die Benennung „Restrisiko“ mißverständlich ist, täuscht sie doch eine arithmetische Prozedur vor: zwei Größen werden auf einander bezogen und ein „Rest“ bleibt übrig.

Leider ist in ISO/IEC Guide 51 „Safety aspects - Guidelines for their inclusion in standards“ in der Definition von „residual risk“ kein Hinweis auf diesen Zusammenhang gegeben, zumal „risk“ als „combination of the probability of occurrence of harm“ eindeutig als wahrscheinlichkeitstheoretische Größe definiert wird.

Da rein verbal kaum etwas zu beanstanden ist, bleibt die Befürchtung, daß im Augenblick zahlenmäßiger Betrachtungen die innewohnende Gefahr des Mißverständnisses virulent wird. Ihm sei eine Veröffentlichung des seinerzeitigen Beauftragten für die Kernkraftsicherheit des Landes Schleswig-Holstein bekannt geworden, wo in völliger Verkenntnis der mathematischen Zusammenhänge mit einem arithmetisch ermittelten „Restrisiko“ unhaltbare Schlußfolgerungen propagiert wurden.

**Thieme** meinte, daß es auch aus der Sicht des Juristen Situationen gebe, in denen die mathematisch-statistische Aussage keinen Wert für die praktische Entscheidung habe, z.B. wenn die Gefahr sich nur einmal im Jahrhundert verwirklicht. Dagegen hätten mathematische Aussagen aus der Sicht des Juristen einen Sinn für eine praktische Risikoentscheidung, wenn es sich um höhere Erwartungen von Gefahrverwirklichungen handele.

Ähnlich wies **Scheer** darauf hin, daß bei erstmaliger Anwendung von neuen Verfahren keine Möglichkeit der Berechnung des Risikos gegeben sei.

**Schulz** verwies darauf, daß Gefahren, auch wenn sie zum Teil gering seien, doch existent seien. Sie seien, wenn man sie deswegen vernachlässige, nicht hinreichend abgesichert. Hinter der ersten Sicherung müßte daher ein zweite Sicherung stehen.

**Thieme** ging auch darauf ein, daß die Risikobewertung in der Praxis des Juristen auch vom Risikobewußtsein abhängen. Dies zeige sich bei der Bewertung des Risikos des Kraftwagenbetriebes und des Nikotingenusses. Da diese beiden durchaus risikobehafteten

Problembereiche von der Masse der Bevölkerung als sozial adäquat angesehen werden, werde die Risikoproblematik verdrängt, obwohl z.B. auf jeder Zigarettensackung auf die Risiken hingewiesen werde. Das hänge auch damit zusammen, daß es jeder in der Hand habe, sein persönliches Risiko zu verringern, indem er mit dem Auto vorsichtig fahre und auf das Rauchen verzichte. Das statistische Risiko sieht daher anders aus als das praktische Risiko des Menschen als einer Person mit der Möglichkeit kraft seines freien Willens das eigene individuelle Risiko zu vermindern. Das „Restrisiko“ des einzelnen Menschen sei daher in sehr vielen Fällen, die der Jurist zu bewerten habe, objektiv überhaupt nicht berechenbar.

**Eckardt** forderte von den Juristen, sie sollten einen Rechtsgüterschutz treiben. Zwar habe auch der Ingenieur einen professionellen Eigenanspruch auf Bemühen um die Sicherheit. Aber der Staat habe das Monopol der öffentlichen Sicherheit, weshalb die Verantwortung bei den Juristen liege. Er forderte, daß bei sicherheitsrelevanten Projekten eine Alternativenprüfung durchgeführt werde. Er fragte aber auch, wie denn diese Alternativenprüfung praktisch möglich sei.

**Peine** antwortete darauf mit dem Hinweis, daß Alternativenprüfungen nicht überall möglich seien. Sie würden von der juristischen Praxis vor allem bei der Auswahl von Standorten für sicherheitsrelevante Projekte gefordert.

**Schulz** wies darauf hin, daß eine Prüfung von Alternativen im Baugenehmigungsverfahren praktisch nicht möglich sei. Das liege an dem zunehmenden Fehlen von versiertem technischen Personal in den unteren Bauaufsichtsbehörden.

Er führte ferner aus, daß eine „systematische“ Gefahr bestehe, die sich aus den in den letzten Jahren zu beobachtenden nicht mit einander abgestimmten Änderungen im System der Regelungen ergebe. Die Gefahr im Bauwesen sei heute höher geworden, weil in der neuen NBauO (ebenso wie in den Bauordnungen anderer Länder) vieles nicht mehr genehmigungspflichtig ist und damit auch nicht mehr geprüft wird. Dadurch würden Risiken verlagert. Dies bedeutet Änderungen auch im Haftungsrecht. Weiter treten volkswirtschaftliche Auswirkungen ein, die bei der Aufstellung der Regelungen nicht bedacht worden seien. So wird von den Ländern bei der Deregulierung des Bauordnungsrechts auf die Einsparung von Zeit und von Gebühren hingewiesen. Eine Abwägung, die den gesamten Ablauf einer Baumaßnahme einschließlich der damit verbundenen Investitionen mit einbezieht, finde jedoch nicht statt.

**Siebke** stellte dar, daß eine Besonderheit des deutschen Baurechts die „bauaufsichtliche Einführung“ einzelner technischer Normen sei, die sicherheitsrelevant sind. Durch die Einführung wird die rechtliche Vermutung begründet, daß der Anwender bei Beachtung der Regeln die anerkannten technischen Regeln beachtet hat. Im Zusammenhang mit der Diskussion von „Gefahr“ und „Risiko“ stellt sich hierbei im Bereich des Rechts Bedarf nach einer Harmonisierung. Dies wird derzeit durch die Auseinandersetzung um eine europaweite einheitliche rechtliche Bewertung der Risiken aus der Verwendung gefährdender Baustoffe völlig verdeckt.

Es sei notwendig, die Fragen der Risikobewertung nicht nur aus der nationalen Sicht zu betrachten. Für die gegenseitige Verständigung seien auch die internationalen Beziehungen und der dabei übliche Sprachgebrauch zu beachten. Dies gälte nicht nur für die Technik,

wo eine Harmonisierung durch europäische Normen versucht werde, sondern auch für das Recht. Die aktuelle Europapolitik versuche, über die Beseitigung von Handelshemmnissen einen grenzüberschreitenden Austausch von Produkten und Dienstleistungen zu fördern. Zur Verständigung über die zugesicherten Eigenschaften und zur Erleichterung der Vertragsabwicklung werden von der Europäischen Normungsorganisation CEN/CENELEC technische Normen erarbeitet, die nach einem Abstimmungsprozeß - entsprechend dem EU-Recht - von den nationalen Normungsinstituten zu übernehmen sind. Da die Anpassung nicht gleichzeitig in allem Mitgliedstaaten der EU geschieht, besteht unterschiedliches nationales Recht. Dies entspräche nicht der politischen Intention. Die nationalen Rechtsordnungen seien zu harmonisieren. Das Rechts-Risiko müsse ausgeschaltet werden. Er stellte die Frage an die Juristen, wie insoweit der Stand der Dinge sei, damit das von ihm gezeichnete Risiko offensichtlich werde.

**Eggert** wies darauf hin, daß es im gesamten Bereich der Technik so etwas wie einen Sicherheitsterror gibt. Von den nachgeordneten Instanzen, z.B. dem TÜV, oder auch von den unteren Bauaufsichtsbehörden würden bestimmte Forderungen durchgesetzt, auch wenn keine Gefahr, die mit einer bestimmten Vorschrift bekämpft wird, konkret vorliegt. Z. B. müssen Vorschriften, mit denen die Grundwassergefährdung bekämpft wird, etwa der Zwang Drei-Kammer-Gruben zu bauen, als Alternative zum Anschluß an das Klärsystem auch dort beachtet werden, wo es überhaupt kein Grundwasser gibt, wie etwa im Marschbereich der Nordsee. Für weniger bemittelte Hausbesitzer hat so etwas eine verheerende finanzielle Auswirkung; sie verstehen die Welt nicht mehr und fühlen sich vom Staat bedroht und bevormundet, aber nicht geschützt.

Er wies auf ein weiteres Problem hin. Treppengeländer und Balkonbrüstungen sind zur Sicherung gegen den Absturz gedacht, nicht aber zum Herunterrutschen (auf dem Treppengeländer). Wenn diese Einrichtungen wegen Zweckentfremdung nur eine begrenzte Lebensdauer haben, so hängt das mit dieser Zweckentfremdung zusammen und hat nichts mit der „Ursungsgefahr“ zu tun.

Es gebe auch eine „gefährliche Sicherheit“. Die Sicherheitsmaßnahmen erhöhten nur dann die Sicherheit, wenn der Anwender der Technik sich nicht leichtsinniger verhält als ohne diese Maßnahmen. Das könne soweit gehen, daß der Anwender den Sicherheitsgewinn nicht nur ausgleicht, sondern sogar unter das vorher vorhandene Sicherheitsniveau gerät. Das blinde Vertrauen in die Sicherheitseinrichtung kann die Gefahr erhöhen gegenüber dem Zustand vor deren Installation. Wer schneller fährt, weil er auf die Einrichtung „airbag“ vertraut, begeht genau diesen Fehler.

Zum Zeitproblem bei der Produktion von Normen bemerkte er, daß dieses Problem nicht nur im staatlichen, sondern auch im technischen Bereich bestehe. Daher könnten neue Normen zuweilen erst in Kraft gesetzt werden, wenn sie bereits überholt seien. Die Ursache dafür, daß in beiden Bereichen für die Nichtkenner der Szene vom ersten Entwurf bis zur fertigen Norm unvorstellbare Zeiten verstreichen, liege in unserem demokratischen System. Der Instanzenzug sei zu lang und die Zwischenschritte seien zuweilen von Subalternen zu leisten, denen es nicht pressiert. Es gäbe auch zu viele Lobbyisten, denen die Möglichkeit gegeben sei, Sand ins Getriebe zu schütten. Autoritäre Systeme seien uns in diesem Punkt überlegen.



**Peine** stellte zusammenfassend fest, daß Regeln auch falsch sein könnten. Wenn sich dies herausstelle, müßten neue Regeln geschaffen werden. Ob eine Regel richtig oder falsch ist, könne der Jurist nicht beurteilen, sondern nur der Fachmann, auf dessen Urteil der Jurist angewiesen sei.

#### 4. Thema: Die Anwendung von Sicherheitsnormen

**Siebke** wies darauf hin, daß insbesondere bei neuartigen technischen Konstruktionen der Sicherheitskoeffizient mangels hinreichender Erfahrung überhaupt nicht erchenbar sei. Es fehle an empirischem Material. In diesen Fällen müsse man sich mit Experimenten begnügen und anhand dieser die Sicherheitsproblematik bewerten.

**Eckardt** verlangte, bei derartigen Fragen den Kontext der Problematik zu beachten, insbesondere das soziale und naturwissenschaftliche Umfeld. Im übrigen stimmte er Siebke zu, daß man ohne experimentelles Vorgehen überhaupt keine brauchbaren Ergebnisse erzielen könnte.

**Schulz** sprach über die zunehmend stärker fehlende Prüfung der Einhaltung materiell-rechtlicher Vorschriften durch die öffentliche Verwaltung. Viele Bereiche würden auf Grund neuer baurechtlicher Vorschriften nicht mehr überprüft. Umgekehrt würde in anderen Bereichen nicht mehr geprüft, weil sich hier zu große Vorschriftenberge aufgetürmt hätten. In der Bevölkerung setzte sich daher eine Haltung durch, die Vorschriften nicht mehr ernst zu nehmen.

Weiter würde durch die Mehrzahl der am Bau Beteiligten die Verantwortung unübersichtlich. Diesem Problem trägt die neue Bauordnung nicht Rechnung. Der Bauherr, den die Bauordnung voraussetzt, der sich um sein Bauwerk kümmert und auch bestimmte Interessen als Bauherr verfolgt, ist in der heutigen Wirklichkeit vielfach nicht vorhanden. Er plädierte dafür, trotz Abbau des staatlichen Handelns jedenfalls stichprobenartige Kontrollen durchzuführen.

**Eggert** bemängelte, daß die Robustheit zwar eine wichtige Forderung sei, daß sie aber nicht hinreichend oder überhaupt nicht definiert sei. Gemeint ist mit dieser Forderung, die schädliche Auswirkung nicht kalkulierbarer Einwirkungen mit vertretbarem Aufwand in erträglichen Grenzen zu halten. Solche zusätzlichen Maßnahmen lägen nicht im Bereich der Berechnung. Ein plausibles Beispiel hierzu ist das Ausfüllen von Hohlkörpern mit druckfestem Material, wenn Stöße auf diesen Körper nicht auszuschließen sind und das Einbeulen dieser Hohlkörper katastrophale Auswirkungen hat. In Schweden sei aus diesem Grunde vor einigen Jahren eine Brücke eingestürzt – ein Schiff stieß in einer Meerenge gegen den Flußbereich der stählernen, aus Hohlkörpern bestehenden Bögen. Dies geschah nachts. Beide Bögen mitsamt der Fahrbahn und den Autos stürzten mit tödlichen Folgen ins Meer. Mit einigen Ladungen Magerbeton der billigsten Sorte wäre zwar nicht der Schiffsanstoß, aber auf jeden Fall die Katastrophe verhindert worden. Mit einer noch billigeren Warnanlage hätte man zwar nicht den Einsturz der Brücke und den Tod der zu dieser Zeit auf der Brücke fahrenden Personen verhindern können, aber durch aus den Tod weiterer Menschen, die nach dem Einsturz noch auf die Brücke gefahren sind. Es geht um die Frage: „Was tun, wenn alle Stricke reißen?“

Man müsse danach schauen, ob man schon mit geringen Mitteln mehr Sicherheit erreichen könnte. In technischen Regeln müsse man laufend von dieser Möglichkeit Gebrauch machen. Ein Satz in jeder Regel müsse wie folgt lauten: „Wenn kein genauer Nachweis erfolgt, darf folgende Formel genommen werden.“ In der Praxis wird dann meistens von dieser einfachen Möglichkeit Gebrauch gemacht, ungeachtet dessen, daß hier Sicherheit „verschenkt“ wird.

### 5. Thema: Haftungsrecht

Im Hinblick auf Haftungsfragen müsse, so führte **Salje** aus, vorher die Frage nach den möglichen Alternativen gestellt und geprüft werden. Sei diese Frage nicht geprüft worden, so habe der Schadensverursacher im Haftungsprozeß den Prozeß praktisch schon verloren.

**Schulz** griff ebenfalls die Haftungsproblematik auf. Im Baurecht sei eine Alternativenprüfung praktisch nicht möglich. In der Praxis käme es entscheidend auch auf die Qualität des Personals an. Angesichts der Qualität der Beamten an der Front verböten sich Alternativenprüfungen in der Praxis im allgemeinen.

**Peine** ging noch weiter mit dem Hinweis, daß Alternativenprüfungen nicht überall möglich seien. Dies gelte vor allem für Großprojekte. Allerdings würde für Standorte von umweltrelevanten Projekten eine Prüfung möglicher Alternativen gefordert.

**Schulz** wies auch darauf hin, daß die Haftungsprobleme von Öffentlich-Rechtlern präjudiert würden, obwohl es sich um zivilrechtliche Fragen handle. Weiter sagte er, daß sich die Haftungsproblematik durch die Änderung der Genehmigungserfordernisse im Baurecht selbst ändere.

**Thieme** stellte hierzu fest, daß dies eine allgemeine Erscheinung sei. Es gäbe viele Lebensgebiete, in denen trotz bestehender Risiken, die durch Vorschriften begrenzt würden, keine vorgängige Genehmigung für die Errichtung und den Betrieb einer Einrichtung erteilt werden müsse. Trotzdem seien in diesen Lebensgebieten keine unerträglichen Schadenseintritte zu verzeichnen.

## **MITTEILUNGEN**

### **Veröffentlichungen**

Im Berichtsjahr wurden veröffentlicht:

„Jahrbuch 1998 der BWG“ mit 219 Seiten

„Abhandlungen der BWG“, Band XLIX mit 282 Seiten

### **Geschäftliche Mitteilungen:**

Am 31.12.1999 gehörten der BWG 127 ordentliche Mitglieder an, davon 70 unter 70 Jahren, sowie 75 korrespondierende Mitglieder. Die Zahl der Mitglieder unter 70 Jahren betrug in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften 22, in der Klasse für Ingenieurwissenschaften 27 und in der Klasse für Geisteswissenschaften 21. Von den ordentlichen Mitgliedern zählten zum Bereich Braunschweig 69, zum Bereich Clausthal 9, zum Bereich Göttingen 11, zum Bereich Hannover 36 und zum Bereich Osnabrück 2.

Das Plenum trat am 10.12.1999 zu seiner jährlichen Hauptsitzung zusammen, nahm die Jahresberichte des Präsidenten und des Generalsekretärs entgegen und beschloss den Haushalt 2000. In den Wahlsitzungen am 16.04.1999 und 10.12.1999 wurden die auf Seiten 214 ff. vorgestellten Mitglieder hinzugewählt.

Am 12.10.1999 starb der Präsident der BWG, Prof.em. Dr.phil. Norbert Kamp. Als sein Nachfolger wurde Prof. Dr.rer.nat. Joachim Klein für den Rest der Amtszeit bis 31.12.2001 gewählt.

Das am 10.12.1999 tagende Konzil wählte den Gauß-Preisträger 2000 und legte die Feierliche Jahresversammlung auf den 09.06.2000 fest.

## PERSONALIA

### Todesfälle

Es verstarben im Berichtsjahr:

- |            |   |
|------------|---|
| 25.03.1999 | Hans Robert Müller, Dr.phil.habil, Prof.em. für Mathematik an der TU Braunschweig. Ordentliches Mitglied seit 1972 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften   |
| 07.04.1999 | Gerhard Becker, Dr.rer.nat., Dr.-Ing.h.c., Prof. i.R. für Physik, Ltd. Direktor der Physikalisch Technischen Bundesanstalt in Braunschweig. Ordentliches Mitglied seit 1972 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften  |
| 24.08.1999 | Martin Kersten, Dr.-Ing., Prof. für Physik, Präsident i.R. der Physikalisch Technischen Bundesanstalt in Braunschweig. Ordentliches Mitglied seit 1964 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften   |
| 12.10.1999 | Norbert Kamp, Dr.phil., Prof.em. für Mittelalterliche Geschichte, Rektor der TU Braunschweig von 1976 bis 1978, erster Präsident der Georg-August Universität Göttingen von 1979 bis 1992. Ordentliches Mitglied seit 1979 in der Klasse für Geisteswissenschaften. Präsident der BWG vom 1.1.1996 bis 12. Oktober 1999 |

## NACHRUFE

MARTIN KERSTEN

\*28.4.1906

†24.8.1999

Mit Martin Kersten verlor die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft ein Mitglied, dessen Lebensweg ihn über Forschungsstätten in der Industrie und Lehrstühle an verschiedenen Hochschulen bis zum Amt des Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt führte.

Während seines Studiums an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg nahm er begeistert Anteil an der großen Zeit der Berliner Physik, der er Begegnungen mit Max Planck, Albert Einstein oder Dennis Gabor verdankte. Von 1930 bis 1945 arbeitete er im Zentrallaboratorium des Werner-Werks der Siemens & Halske AG, war dort zuletzt Leiter der Forschungsabteilung für magnetische Werkstoffe. Mit großer Betroffenheit und Anteilnahme erlebte er in diesen Jahren den Exodus vieler ihm nahestehender jüdischer Kollegen. Gegen Ende des Krieges wurde sein Laboratorium in das Erzgebirge in die Nähe von Freiberg ausgelagert.

Im Jahre 1946 übernahm er den Lehrstuhl für Experimentalphysik an der Technischen Hochschule Dresden und folgte ein Jahr später einem Ruf an die Universität Jena, wo er das Institut für Magnetische Werkstoffe aufbaute. In dieser Zeit entstand auch eine lebenslange Freundschaft mit dem Altmeister der Quantenmechanik Friedrich Hund.

Nach seiner über West-Berlin vollzogenen Übersiedlung in die Bundesrepublik im Jahre 1951 war er zunächst wieder in der Industrie bei der Vakuumschmelze AG in Hanau tätig, bis er 1955 einen Ruf an die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule in Aachen als Leiter des Instituts für Werkstoffe der Elektrotechnik annahm. Hier war er auch Mitbegründer des Instituts für Reaktorwerkstoffe der damaligen Kernforschungsanlage Jülich. Kersten besaß daher reiche Erfahrungen auf verschiedenen Gebieten der physikalischen Forschung, ihrer Organisation und industriellen Anwendung als er im Jahre 1961 zum Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt berufen wurde. Dieser Aufgabe widmete er sich mit großer Energie und dem vollen Einsatz seiner Persönlichkeit. In seine Amtszeit fallen unter anderem der Bau des Forschungsreaktors sowie die Vorbereitung eines weiteren umfangreichen Bauprogramms. Er trug auch wesentlich zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen der Mitarbeiter bei, was er als wesentliche Voraussetzung dafür ansah, daß die PTB den wachsenden Ansprüchen von Wissenschaft und Technik gerecht werden könne.

Neben seiner Tätigkeit als Präsident der PTB wirkte Martin Kersten ehrenamtlich in einer großen Zahl nationaler und internationaler Gremien und Verbänden mit, von denen hier nur das Comité International des Poids et Mesures (CIPM) der Meterkonvention, die Deutsche Physikalische Gesellschaft, deren Präsident er war, die Europäische Physikalische Gesellschaft, die er mit gründen half, und der Wissenschaftsrat genannt seien. Energisch setzte er sich in Wort und Schrift für die Förderung der Forschung in der Bundesrepublik Deutschland und ihres Ansehens im Ausland ein. In Anerkennung seiner großen Verdienste wurde er mit dem Großen Verdienstkreuz des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland ausgezeichnet.

Nach seiner Pensionierung im Jahre 1968 widmete er sich weiterhin mit großem Engagement Themen von übergeordneter Bedeutung. Der Technischen Universität in Braunschweig blieb er als Honorarprofessor und Mitglied der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät verbunden. Auch die Verbindung zum heutigen Forschungszentrum Jülich ließ er nie abreißen. Mit Nachdruck setzte er sich in der Öffentlichkeit für Fragen des Umweltschutzes ein, wobei er die friedliche Nutzung der Kernenergie zur Vermeidung der gesundheitsschädlichen Nutzung fossiler Brennstoffe in den Vordergrund stellte. Außer durch zahlreiche Vorträge und Veröffentlichungen scheute er sich auch nicht, seinen Standpunkt durch direkte Kontakte mit Politikern und in Leserbriefen zu vertreten.

Sein Interesse für natur- und ingenieurwissenschaftliche Forschung und Entwicklung blieb bis ins hohe Alter ungebrochen, was er selbst mit großer Dankbarkeit als eines seiner größten Privilegien bezeichnete. Musik, Literatur und das Erleben der freien Natur waren für ihn unverzichtbare Elemente von Lebensqualität. Seine Familie war für ihn ein wesentlicher Bereich und Lebensinhalt, sie gab ihm Halt, insbesondere auch nach dem Tod seiner Frau im Jahr 1993. Mit großer Freude verfolgte und förderte er die Entwicklung seiner drei Kinder, seiner zahlreichen Enkel und Urenkel.

Wer das Glück hatte, ihn in seinen letzten Lebensjahren zu treffen, konnte mit Bewunderung die klaglose Hinnahme seiner zunehmend eingeschränkten körperlichen Verfassung erfahren. Wenige Monate vor seinem Tode sagte er einmal: „Ich bemühe mich, dankbar zu nutzen, was mir noch geblieben ist: Keine Schmerzen zu haben, denken und sprechen zu können und dadurch in Kontakt mit meinen Mitmenschen zu bleiben.“ Seine positive Haltung zu den grundsätzlichen Fragen des menschlichen Lebens hat Vielen, die ihm nahe standen, Kraft gegeben. Sie werden ihn nicht vergessen.

Dieter Kind

## HANS ROBERT MÜLLER

\*26.10.1911 †25.03.1999

Im 88. Lebensjahr verstarb nach langer schwerer Krankheit am 25. März 1999 unser Ordentliches Mitglied Prof.em. Dr.phil. habil. Hans Robert Müller. Mit ihm hat die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft einen der wenigen Gelehrten verloren, die noch das Gesamtgebiet der Geometrie vertreten, und zwar bis hin zu technischen Anwendungen der Differentialgeometrie und der Kinematik.

Hans Robert Müller wurde am 26. Oktober 1911 in Graz geboren, wo er nach seinem Abitur an der Universität und an der Technischen Hochschule studierte. Nach der Lehramtsprüfung im Jahr 1935 promovierte er 1937 zum Dr.phil., habilitierte sich 1939 ebenfalls in Graz und wurde 1940 zum Dozenten ernannt. Es folgte der Kriegsdienst mit anschließender Gefangenschaft. Wieder in Graz tätig, wurde er dort 1950 tit.a.o. Professor und hielt Gastvorlesungen in Gießen. Seine venia wurde 1952 auf die Technische Hochschule Graz erweitert. Ab 1954 war er dann Professor mit Lehrstuhl an der Universität Ankara. Es folgten 1956 die Annahme eines Rufes an die Technische Universität Berlin und schließlich 1963 nach erneuter Berufung der Wechsel an die Technische Hochschule Braun-

schweig. Einem weiteren Ruf an die Technische Hochschule Darmstadt folgte er nicht mehr.

Hans Robert Müller war Mitglied der Socio del Circolo Matematico di Palermo, der Österreichischen Mathematischen Gesellschaft, der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, der Berliner Mathematischen Gesellschaft und seit 1972 der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, in der er sich auch als Klassenvorsitzender engagierte.

Das umfangreiche wissenschaftliche Werk von Hans Robert Müller umfaßt weite Teile der Geometrie: von Elementargeometrie und Darstellender Geometrie über Liniengeometrie und Nichteuklidische Geometrie bis zur Differential- und Integralgeometrie. Die wichtigsten und wegweisenden Ergebnisse finden sich jedoch in seinen Untersuchungen zur Kinematik: Hier verdankt man ihm u.a. die Einführung der Rollgleitzahl, viele wesentliche Sätze über geschlossene Bewegungsvorgänge und tiefgehende Resultate über mehrgliedrige Bewegungsabläufe, die ihren Niederschlag in mehreren Buchveröffentlichungen von grundlegender Bedeutung gefunden haben. In Braunschweig führte diese Forschungsrichtung zu einer engen Zusammenarbeit mit Herrn Prof.Dr. Dizioglu von dem damaligen Institut für Getriebelehre und Maschinendynamik mit Sondervorlesungen, gemeinsamen Seminaren und mit Fachtagungen am Mathematischen Forschungsinstitut in Oberwolfach.

Als Hochschullehrer und als Kollege war Hans Robert Müller wegen seines untadligen Charakters und seiner Zuverlässigkeit, wegen seiner liebenswürdigen Umgangsform und wegen seines Pflichtbewußtseins allgemein hochgeschätzt. Ein besonderes Anliegen war ihm die Förderung und Betreuung der Studierenden, für die er sich einsetzte und für deren Sorgen er stets zugänglich war.

Privat war Hans Robert Müller ein sorgender Familienvater. Aus der 1946 geschlossenen Ehe gingen drei Kinder hervor. Sie haben ihn zusammen mit ihrer Mutter während seiner Krankheitszeit gestützt und umsorgt. Und trotz der in den letzten Monaten intensiven Pflegebedürftigkeit hat seine Frau es ermöglicht, daß er bis zu seinem Tod in der vertrauten häuslichen Umgebung bleiben konnte.

Solange es seine Kräfte zuließen, hat Hans Robert Müller wissenschaftlich gearbeitet. Die nachstehend knapp formulierte Fragestellung hat ihn noch bis zum Verfall seiner Arbeitsfähigkeit beschäftigt. So mag diese offengebliebene Frage dazu dienen, die Erinnerung an den erfolgreichen Forscher und geschätzten Kollegen wachzuhalten:

Gegeben seien in der euklidischen Ebene eine Eilinie und außerdem eine natürliche Zahl  $n \geq 3$ . Welche geschlossenen Tangenten- $n$ -Ecke besitzt die Eilinie, bei denen sämtliche Seiten die Eilinie gerade im jeweiligen Seitenmittelpunkt berühren?

Hans-Joachim Kowalsky

## Zuwahlen

Zu ordentlichen Mitgliedern wurden am 16.04.1999 gewählt:

### in die Klasse für Ingenieurwissenschaften

**Schulitz**, Helmut Christian, Dipl.-Ing., Master of Arch., Universitätsprofessor für Baukonstruktionen an der Technischen Universität Braunschweig, Am Dahlumer Holze 27, 38126 Braunschweig

1936, 17.07.	geboren in Bublitz/Pommern
1955	Abitur an der Oberschule für Jungen, Eppendorf
1955 – 1957	Lehre als Maurer
1957 – 1962	Technische Hochschule München (Dipl.-Ing.)
1965	2. Staatsprüfung (Regierungsbaumeister)
1966 – 1968	University of California, Los Angeles (Master of Arch.)
1962 – 1963	Mitarbeit im Büro Ensinger + Richter, München
1963 – 1966	Referendar und Reg.-Baumeister, Universitätsbauamt und Oberste Baubehörde München
1966 – 1968	Mitarbeit im Büro Henry C. K. Lui Associates, Los Angeles
1969 – 1982	Professor, University of California Los Angeles
1971 – 1980	Gründungsmitglied und Partner des Architektur- und Planungsbüros U.I.G., Los Angeles
1975 – 1983	Eigenes Architekturbüro, Los Angeles
1978 – 1979	Gastprofessor, Universität Karlsruhe
1980	Assoc. Dean, School of Architecture and Urban Planning, University of California, Los Angeles
ab 1982	Professor, TU Braunschweig, Direktor des Instituts für Industriebau
ab 1983	Eigenes Architekturbüro, Braunschweig
1987	Gastprofessor, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge/Mass./USA
1991	Dekan, Fachbereich Architektur, TU Braunschweig
1999	Gastprofessor, University of Montreal, Kanada

Publikationen: ca. 180 Projektveröffentlichungen in Zeitschriften und 8 Bücher

#### Ehrungen und Auszeichnungen:

Regent Fellowship University of California, Architekturpreis von Südkalifornien und 14 weitere Auszeichnungen für gebaute Projekte sowie ca. 30 Auszeichnungen in Architektur-Wettbewerben

Mitgliedschaften: Ehrenmitglied des American Institute of Architects (Honorary Fellow AIA)



**in die Klasse für Geisteswissenschaften**

**Märtl, Claudia**, Dr.phil., Universitätsprofessorin für Mittelalterliche Geschichte an der Technischen Universität Braunschweig, Wendenmaschstraße 14, 38114 Braunschweig

1954, 03.07.	geboren in Amberg/Bayern
1974	Abitur, Dr. Johanna Decker Gymnasium, Amberg
1980/81	1. Staatsexamen für das Lehramt an Gymnasien
1984	Promotion
1994	Habilitation
ab 1979	Student. Hilfskraft (Lehrstuhl Fuhrmann)
ab 1981	Wissenschaftl. Hilfskraft (Lehrstuhl Fuhrmann)
ab 1984	Akad. Rätin a. Z. (Lehrstuhl Fuhrmann)
1988 – 1995	Wissenschaftl. Mitarbeiterin, Monumenta Germaniae Historica, München
WS 1994/95	Lehrstuhlvertretung, Universität Regensburg
SS 1995	Lehrstuhlvertretung, Universität Frankfurt/Main
ab WS 1995/96	Professorin für Mittelalterliche Geschichte, TU Braunschweig

Publikationen; ca. 20 Veröffentlichungen in Zeitschriften und Fachbüchern sowie drei Bücher

Ehrungen und Auszeichnungen:

Habilitationspreis des Vereins der Freunde der Universität Regensburg (WS 1994/95)

**Schmidt-Glintzer, Helwig**, Dr.phil., Universitätsprofessor für Sinologie der Universität Göttingen zur Wahrnehmung der Aufgaben des Direktors der Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel, Lessingplatz 1, 38304 Wolfenbüttel

1948, 24.06.	geboren in Bad Hersfeld/Hessen
1967	Abitur, Alte Klosterschule Bad Hersfeld
1967-1968	Sinologie u. a. Fächer, Universität Göttingen
1968 – 1973	Universität München
1973	Promotion zum Dr. phil.
1973	Furen daxue, Xinzhu/Taiwan und Academia Sinica, Nangang/Taipei
1973 – 1974	Jim-bun Kagaku kenkyusho, Kyoto/Japan
1976 – 1979	Wissenschaftl. Assistent, Universität Bonn
1979	Habilitation; venia legendi für das Fach „Sinologie“
1981	Lehrstuhlvertretung, Universität Hamburg
1981 – 1993	Ordinarius für Ostasiatische Kultur- und Sprachwissenschaft, Universität München

seit 1993	Universitätsprofessor an der Universität Göttingen zur Wahrnehmung der Aufgaben des Direktors der Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel
Publikationen:	ca. 115 Veröffentlichungen und Vorträge, mehr als 20 Monographien und zahlreiche Buchbesprechungen
Mitgliedschaften:	Association for Asian Studies; American Historical Association; American Oriental Society; Deutsche Morgenländische Gesellschaft; Deutsche Gesellschaft für Asienkunde; Deutsche Gesellschaft für Ostasiatische Kunst

**Thieme, Hartmut**, Dr.rer.nat., Leiter der Ausgrabungen im Tagebau Schöningen, Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege, Hannover, Schaumburger Weg 9, 31542 Bad Nenndorf

1947, 20.11.	geboren in Oberhausen/Rheinland
1966	Abitur, Staatliches Gymnasium Oberhausen
1968:	Studium der Anglistik und Geographie, Ruhr-Universität Bochum
1968 – 1969	Studium der Rechtswissenschaften, Ruhr-Universität Bonn
1969 – 1979	Studium der Ur- und Frühgeschichte, Quartärgeologie und Ethnologie, Universität zu Köln
	Promotion, Math.-Nat. Fakultät, Universität zu Köln
1979	Aufarbeitung paläolithischer Altfunde, Karl-Geib-Museum, Bad Kreuznach
1980	Ausgrabungen mittelpaläolithischer Löß-Freilandstationen in der Ziegeleigrube Dreesen, Mönchengladbach-Rheindahlen, Rheinisches Landesmuseum, Bonn
1981:	Querschnittsaufgabe Alt- und Mittelsteinzeit in Niedersachsen, Institut für Denkmalpflege, Hannover
1982	Ausgrabung einer frühneolithischen Siedlung und Befestigungsanlage im Tagebau Schöningen, Landkreis Helmstedt
seit 1983	Initiierung und Leitung des Projektes: „Archäologische Schwerpunktuntersuchungen im Helmstedter Braunkohlerevier“ der Bodendenkmalpflege, Hannover
80er Jahre	Ausgrabungen in Emslage (Mesolithikum) und Meppen Spätpaläolithikum)
1993 – 1994	Ausgrabungen in Ochtmissen/Lüneburg auf einem neuen mittelpaläolithischen Fundplatz (Acheuléen) mit u.a. 56 Faustkeilen
Publikationen:	ca. 35 Veröffentlichungen in Zeitschriften und Sammelwerken sowie vier Monographien

Zu ordentlichen Mitgliedern wurden am 10.12.1999 gewählt:

**in die Klasse für Ingenieurwissenschaften**

**Kowalsky, Wolfgang, Dr.-Ing.habil.,** Universitätsprofessor für Hochfrequenztechnik an der Technischen Universität Braunschweig, Dorothea-Erxleben-Straße 41 b, 38116 Braunschweig

1958, 23.03.	geboren in Erlangen
1976	Abitur, Gymnasium „Große Schule“ Wolfenbüttel
1976 – 1982	Studium der Elektrotechnik, TU Braunschweig
1978	Diplom-Vorprüfung
1982	Diplom-Hauptprüfung
1985	Promotion, Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik der TU Braunschweig
1989	Habilitation, Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik der TU Braunschweig, Venia legendi für Optoelektronik
1982	Wiss. Mitarbeiter, Institut für Hochfrequenztechnik der TU Braunschweig
1984	Wiss. Mitarbeiter, Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik Berlin GmbH
1986	Wiss. Mitarbeiter, Institut für Hochfrequenztechnik der TU Braunschweig
1990	C3-Professor, Abteilung Optoelektronik der Ingenieurwissenschaftlichen Fakultät, Universität Ulm
seit 1994	C4-Professor und geschäftsführender Leiter, Institut für Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig
Publikationen:	ca. 120 Veröffentlichungen in Zeitschriften und Sammelwerken und ein Buch über Dielektrische Werkstoffe der Elektronik und Photonik

**Peil, Udo, Dr.-Ing.,** Universitätsprofessor für Stahlbau an der Technischen Universität Braunschweig, Försterkamp 9, 38302 Wolfenbüttel

1944, 20.04.	geboren in Oldenburg/O.
1965	Abitur, Graf-Anton-Günther-Schule, Gymnasium in Oldenburg
1965 – 1971	Studium des Bauingenieurwesens, TU Braunschweig
1971	Diplom
1976	Promotion
1971 – 1975	Wissenschaftl. Mitarbeiter, Institut für Stahlbau der TU Braunschweig
1975	Ausbildung zum Schweißfachingenieur mit Prüfung
1978	Akad. Rat, Institut für Stahlbau der TU Braunschweig

1979	Akad. Oberrat, Institut für Stahlbau der TU Braunschweig
1985 – 1987	2. Stellvertr. Sprecher des SFB 319 „Stoffgesetze metallischer Werkstoffe – Entwicklung und technische Anwendung“
1986	Vierwöchiger Vortragsaufenthalt, VR China
1988	C3-Professor für Stahl- und Leichtmetallbau, Universität Karlsruhe
1992	Ordinarius, Fach Stahlbau, Leiter des Instituts für Stahlbau der TU Braunschweig
1998	Sprecher des SFB 477 „Bauwerksüberwachung“
1995	Prüfingenieur für Baustatik
<b>Publikationen:</b>	ca. 120 Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Sammelwerken, Herausgeber des Buches Baukonstruktionen unter Windeinwirkung, 1997

#### in die Klasse für Geisteswissenschaften

**Alpers, Klaus**, Dr.phil., Universitätsprofessor für Klassische Philologie an der Universität Hamburg, Kolberger Straße 12, 21339 Lüneburg

1935, 27.09.	geboren in Lüneburg
1956	Abitur, Johanneum Lüneburg
1956	Studium Klassische Philologie, Philosophie, Universität Hamburg (seit 1960 Stipendiat der Studienstiftung des deutschen Volkes)
1964	Promotion Staatsexamen Griechisch, Latein, Pädagogik
1977	Habilitation im Fach Klassische Philologie und Venia legendi für das Fach Klassische Philologie
1964	Wiss. Mitarbeiter (DFG-Privatdienstvertrag), Index Hippocraticus des Thesaurus Linguae Graecae, Universität Hamburg
1967	Lehrauftrag, Universität Hamburg
1968	Wiss. Angestellter, Mitarbeiter am Lexikon des frühgriechischen Epos, Universität Hamburg
1971	Wiss. Rat
1971	Wiss. Oberrat
1977	Habilitation und Verleihung der Lehrbefugnis als Privatdozent im Fach Klassische Philologie
1978	Redaktor des Index Hippocraticus (bis 1989: Fertigstellung)
1984	Universitätsprofessor für Klassische Philologie, Universität Hamburg
1994 – 1998	Prodekan, FB Geschichtswissenschaften, Universität Hamburg
1994 – 1998	Mitglied des Konzils, Universität Hamburg
1994 – 1999	Mitglied des Akad. Senats, Universität Hamburg

- Publikationen: ca. 15 Veröffentlichungen in Zeitschriften und Sammelwerken, Mitherausgeber der Serien Sammlung Griechischer und Lateinischer Grammatiker und Serta Graeca. Beiträge zur Erforschung griechischer Texte
- Mitgliedschaften: Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab (The Royal Danish Academy of Sciences and Letters)

Zu korrespondierenden Mitgliedern wurden am 10.12.1999 gewählt:

#### in die Klasse für Geisteswissenschaften

**Brett, Michael**, Ph.D., Reader in the History of North Africa, Dep. of History, School of Oriental and African Studies, London, 142 Turney Road, West Dulwich, SE 21 7JJ/Großbritannien

- 1934, 07.12. geboren in Congleton, Ches./GB  
 1945 – 1952 King's School, Macclesfield  
 1952 – 1955 Gonville and Caius College, Cambridge  
 BA, History, 1<sup>st</sup> Class Hons., History  
 1966 – 1970 School of Oriental and African Studies (S.O.A.S.), London, Ph.D.  
 1962- 1965 Lecturer in History, University College of Cape Coast/Ghana  
 1970 – 2000 Lecturer - Senior Lecturer – Reader in the History of North Africa, S.O.A.S., London

- Publikationen: ca. 60 Veröffentlichungen in Zeitschriften und Sammelwerken und fünf Bücher, Herausgeber des wissenschaftlichen Werkes Northern Africa: Islam and Modernization. 1973

- Mitgliedschaften: British Society for Middle Eastern Studies, Society for Libyan Studies, Society for Algerian Studies

**Cohen-Mushlin, Aliza**, Ph.D., M.A., B.Sc., B.Mus., Director of the Center for Jewish Art, The Hebrew University of Jerusalem, 19 Efrata Street, Jerusalem, 93384, Israel

- 1937, 08.04. geboren in Tel Aviv/Israel  
 1965 B.Sc. in Biology, The Hebrew University of Jerusalem  
 1970 B.A. in History of Art, The Hebrew University of Jerusalem  
 1971 B.Mus. and teacher's diploma (harpsichord and organ), Rubin Music Academy, Jerusalem  
 1974 M.A. in History of Art (summa cum laude, medieval art), The Hebrew University of Jerusalem

- 1981 Ph.D. (summa cum laude, The Worms Bible: A Twelfth-Century Illuminated Latin Manuscript in the British Library), The Warburg Institute, London University, and The Hebrew University of Jerusalem
- 1982 – 1987 Lecturer for Roman and Medieval Art History, Dep. of Art History, The Hebrew University of Jerusalem
- since 1987 Tenured senior lecturer, Dep. of Art History, The Hebrew University of Jerusalem
- since 1991 Director of The Center for Jewish Art, The Hebrew University of Jerusalem
- Publikationen: ca. 10 Veröffentlichungen in Zeitschriften und Sammelwerken sowie drei Bücher und Herausgeber des Jahrbuchs Jewish Art des Center for Jewish Art, Hebrew University of Jerusalem
- Mitgliedschaften: Member of the Comité International de Paléographie Latine

**Engel-Holland, Eva Johanna**, Ph.D., M.A., B.A.Hons., Professor em. für Germanistik und Romanistik am Wellesley College, 83 Leighton Rd., Wellesley, MA 02482/USA, und Forschungsauftrag der DFG an der Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel, Schloßplatz 10, 38304 Wolfenbüttel

- 1919, 18.08. geboren in Dortmund  
Gymnasium. Dortmund und London (St. Paul's Girls' School)  
Universität London/GB  
Cornell University/USA
- 1941 B.A.Hons., London (Latein, Germanistik, Romanistik)
- 1954 Ph.D., Cornell (Indoeuropäische Philologie, Italienische und Germanistische Literatur)
- 1956 M.A. ex officio Cantab
- 1941 Gymnasiallehrer, London (Latein, Röm. Geschichte, Deutsch)
- 1952 – 1954 Teaching Fellow, Cornell University
- 1954 – 1960 Research Fellow u. Univ. Dozent, London, Cambridge
- 1960 – 1961 Gastprofessor, Sheffield University
- 1960 – 1968 Externer Prüfer der Universität London und
- 1960 – 1968 Associate Professor of German, University of Keele/England
- 1967 – 1968 Gastprofessor, Boston University
- 1968 – 1972 o. Prof., Wellesley College
- 1970 o. Prof., Harvard College, Cambridge/MA. (Sommersemester)
- 1976 – 1977 Institute Fellow, Harvard
- 1971 – 1987 Mithrsg. Moses Mendelssohn Ausgabe
- seit 1987 Gesamthrg. der Moses Mendelssohn Ausgabe

Publikationen: ca. 40 Veröffentlichungen in Zeitschriften und Sammelwerken, zwei Bücher und Gesamtleitung der Herausgabe und Bearbeitung der Mendelssohn-Ausgabe sowie zu Werken zur Lessing-Forschung und deutscher erzählender Prosa

Ehrungen und Auszeichnungen:

Universitätspreis, London; National Endowment for the Humanities: Senior Fellowship; Bundesverdienstkreuz Erster Klasse; Ehrenmitglied, Moses Mendelssohn Gesellschaft, Dessau;

Mitgliedschaften: Internationale Gesellschaft des 18. Jh., Lessing-Akademie, Mendelssohn-Gesellschaft, Berlin, R. Luxemburg Gesellschaft, Leipzig und Modern Language Association of America

**Kloft, Hans, Dr.phil.**, Universitätsprofessor für Alte Geschichte an der Universität Bremen, Wernigeroder Straße 36, 28205 Bremen

1939, 10.04.	geboren in Düsseldorf
1959	Abitur, Humanistisches Görresgymnasium zu Düsseldorf
1960 – 1965	Studium an der Universität Köln und Bonn (Geschichte, Latein, Politische Wissenschaften)
1965	Erstes Staatsexamen, Universität Köln (Geschichte und Lateinische Philologie)
1965 – 1968	Verwalter einer Assistentenstelle, Historisches Institut, RWTH Aachen
1968	Promotion, Universität Köln
1968 – 1973	Wiss. Assistent und Mitarbeiter, Historisches Institut, RWTH Aachen
1973	Ernennung zum Akad. Rat
1974	Ernennung zum Akad. Oberrat
1974	Habilitation, Privatdozent mit der Venia für Alte Geschichte
seit 1977	Professor für Geschichte mit dem Schwerpunkt Alte Geschichte, Universität Bremen

Publikationen: ca. 45 Veröffentlichungen in Zeitschriften und Sammelwerken sowie sechs Bücher und Herausgeber des Jahrbuchs der Wittheit zu Bremen 1996ff.

**Seidensticker, Bernd, Dr.phil.**, Universitätsprofessor für Klassische Philologie an der Freien Universität Berlin, Terrassenstraße 17 A, 14129 Berlin

1939, 16.02.	geboren in Hirschberg/Rsgb.
1959	Abitur, Athenaeum Stadt

1959 - 1965	Studium der Klassischen Philologie und der Germanistik, Universität Hamburg und Tübingen Stipendiat der Studienstiftung des deutschen Volkes
1965	1. Staatsexamen
1968	Promotion
1972 – 1992	Gastprofessuren an den Universitäten Austin/Texas, Berkeley, Harvard, Ann Arbor
1978	Habilitation für das Fach Klassische Philologie, Universität Hamburg
1965- 1971	Assistent, Universität Hamburg
1972 – 1982	Wissenschaftlicher Oberrat, Universität Hamburg
1982 - 1987	Professor, Universität Hamburg
seit 1987	Professor, Freie Universität Berlin
Publikationen:	ca. 30 Veröffentlichungen in Zeitschriften und Sammelwerken sowie zwei Bücher und Herausgeber von fünf wissenschaftlichen Werken, Mitherausgeber der Zeitschriften <i>Philologus</i> und <i>Drama</i>
Ehrungen und Auszeichnungen:	Junior Fellow der Harvard Universität am Center for Hellenic Studies in Washington D.C., Fellow am Institute for Advanced Study in Princeton



## Personalia

## Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 1949 - 1999

- 1949 *Walter Reppe* †, Dr.phil., Dr.phil.nat.h.c., Dr.-Ing.E.h., Honorarprofessor der Universität Mainz und der Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1950 *Arvid Hedvall* †, fil.dr., Dr.phil.h.c., Dr.-Eng.h.c., Dr. Techn.h.c., em. o. Professor für Silikatchemie der Technischen Hochschule Göteborg/Schweden.
- 1951 *Wilhelm Nusselt* †, Dr.-Ing.E.h., em. o. Professor für Theoretische Maschinenlehre an der Technischen Hochschule München.
- 1952 *Erwin W. Müller*, Dr.-Ing.habil., Dr.rer.nat.h.c., Dr.h.c., Evan-Pugh Res., Professor an der Pennsylvania State University, University Park, Penn./USA.
- 1953 *Gustav Wolf* †, Dr.-Ing.E.h., Professor in Münster.
- 1954 *Max Strutt* †, Dr.techn., Dr.-Ing.E.h., o. Professor für Höhere Elektrotechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich/Schweiz.
- 1955 *Fritz Arndt* †, Dr.phil., Dr.rer.nat.h.c., Dr.h.c., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Breslau, Honorarprofessor an der Universität Hamburg.
- 1955 *Pascual Jordan* †, Dr.phil., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Hamburg.
- 1956 *Ulrich Finsterwalder* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., München.
- 1957 *Georg Sachs* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., o. Professor für Metallurgie an der Syracuse University, Syracuse, N.Y./USA.
- 1958 *Werner Schmeidler* †, Dr.phil., Dr.-Ing.E.h., em. o. Professor für Mathematik an der Technischen Universität Berlin.
- 1959 *Hans Brockmann* †, Dr.sc.nat.habil., Dr.rer.nat.h.c., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Göttingen.
- 1960 *Theodor von Karman* †, Dr.phil., Dr.-Ing.E.h., Dr.rer.nat.h.c. mult., LL.D., Professor am California Institute of Technology, Pasadena, Calif./USA.
- 1961 *Kurt Paul Klöppel* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., o. Professor für Statik und Stahlbau an der Technischen Hochschule Darmstadt..
- 1962 *Walter Schottky* †, Dr.phil., Dr.-Ing.E.h., Dr.rer.nat.h.c., Dr.techn.h.c., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Erlangen.
- 1963 *Gottfried Köthe* †, Dr.phil., Dr.h.c., Dr.rer.nat.h.c.mult, em. o. Professor für Angewandte Mathematik an der Universität Heidelberg.
- 1964 *Carl Wagner* †, Dr.phil., Dr.rer.nat.h.c., Dr.-Ing.E.h., Professor und vormalig Direktor des Max-Planck-Instituts für Physikalische Chemie in Göttingen.
- 1965 *Albert Betz* †, Dr.phil., Dr.-Ing.E.h., Dr. sc. techn.h.c., Professor und vormalig Direktor der Aerodynamischen Versuchsanstalt und des Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung in Göttingen.

- 1966 *Wilhelm Becker* †, Dr.phil., Dr.h.c., em. o. Professor und Direktor der Astronomisch-Meteorologischen Anstalt der Universität Basel/Schweiz.
- 1967 *Henry Görtler* †, Dr.phil.habil., LL.D.h.c., em. o. Professor der Mathematik und vormals Direktor des Instituts für Angewandte Mathematik der Universität Freiburg i. Br.
- 1968 *Egon Orowan* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., o. Professor für Mechanical Engineering am Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass./USA.
- 1969 *E. Arne Bjerhammer*, tekn.dr., Professor für Geodäsie an der Kungl. Tekniska Högskolan in Stockholm/Schweden.
- 1970 *Elie Carafoli* †, Dr.rer.nat., Professor für Aero-Gas-Dynamik an dem Polytechnischen Institut Bukarest und vormals Direktor des Institut de Mecanique des Fluides „Traian Vuia“ in Bukarest/Rumänien.
- 1971 *Walter Dieminger*, Dr.rer.techn., apl. Professor für Geophysik an der Universität Göttingen und vormals Direktor des Max-Planck-Instituts für Aeronomie in Lindau/Harz
- 1972 *Hubert Rüschi* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., em. o. Professor für Massivbau an der Technischen Hochschule München und vormals Direktor des Amtlichen Materialprüfungsamtes für das Bauwesen.
- 1973 *Viktor Gutmann* †, Dr.techn., Ph.D., Sc.D., Dr.rer.nat.h.c., Dr.Sc.h.c., em. o. Professor für Anorganische Chemie an der Technischen Universität Wien/Österreich.
- 1974 *Friedrich Tamms* †, Dr.h.c., Professor, Beigeordneter der Stadt Düsseldorf (Stadtbaurat i. R.), Freischaffender Planer.
- 1975 *Sir Michael James Lighthill* †, FRS, FRAeS, Hon.D.Sc.mult., Professor für Mathematik an der University of Cambridge/Großbritannien.
- 1977 *Walter Maurice Elsasser* †, Dr.phil., o. Professor für Geophysik an der Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland/USA.
- 1977 *Helmut Moritz*, Dr.techn., Dr.-Ing.E.h., o. Professor für Geodäsie an der Technischen Universität Graz/Österreich.
- 1977 *László Fejes Tóth*, Dr., Professor und Direktor des Mathematischen Forschungsinstituts der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest/Ungarn.
- 1978 *Ulrich Grigull*, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., em. o. Professor für Thermodynamik an der Technischen Universität München.
- 1979 *Wolf Freiherr von Engelhardt*, Dr.phil., em. o. Professor für Mineralogie und Petrographie an der Universität Tübingen.
- 1980 *Hans Kuhn*, Dr.phil., Dr.rer.nat.h.c., Professor und vormals Direktor am Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie in Göttingen.
- 1981 *Martin Kneser*, Dr.rer.nat., o. Professor für Mathematik an der Universität Göttingen.

- 1982 *Walter Burkert*, Dr. phil., o. Professor für Klassische Philologie an der Universität Zürich/Schweiz.
- 1983 *Leopold Müller* †, Dr. techn., Dr. mont. h.c., Honorarprofessor (Felsmechanik) an der Universität Salzburg/Österreich.
- 1984 *Heinz Beneking* †, Dr. rer. nat., o. Professor und Direktor des Instituts für Halbleitertechnik an der RWTH, Aachen.
- 1985 *Gerhard Ertl*, Dr. rer. nat., Dr. h.c., Professor und Direktor am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin.
- 1986 *Arno Borst*, Dr. phil., o. Professor für Geschichte des Mittelalters an der Universität Konstanz.
- 1987 *Olgierd Cecil Zienkiewicz*, FRS, Ph. D., D. Sc., Hon. D. Sc. mult., Professor of Civil Engineering an der University of Wales/Swansea/Großbritannien.
- 1988 *Heinz Brauer*, Dr.-Ing., Professor für Chemische Ingenieurtechnik an der Technischen Universität Berlin.
- 1989 *Herbert Walther*, Dr. rer. nat. Professor für Experimentalphysik an der Universität München und Direktor des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching.
- 1990 *Raymond Klibansky*, Dr. phil., Dr. phil. h.c., Professor der Philosophie (Logik und Metaphysik) an der McGill University in Montreal/Kanada und Fellow des Wolfson College Oxford.
- 1991 *Wilfried B. Krätzig*, Dr.-Ing., Dr.-Ing.E.h., Professor für Ingenieurmechanik an der Ruhr-Universität Bochum.
- 1992 *Ernst-Dieter Gilles*, Dr.-Ing., Professor für Meß- und Regelungstechnik an der Universität Stuttgart.
- 1993 *Hans-Heinrich Voigt*, Dr. rer. nat., em. o. Professor für Astronomie und Astrophysik an der Universität Göttingen.
- 1994 *Josef Fleckenstein*, Dr. phil., em. o. Professor, zuvor Direktor des Max-Planck-Instituts für Geschichte in Göttingen.
- 1995 *David G. Crighton*, FRS, Head of Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge/Großbritannien.
- 1996 *Gerhard Frey*, Dr. rer. nat., Dr. h.c., Professor für Mathematik an der Universität Essen.
- 1997 *Arnold Esch*, Dr. phil., Professor für Mittelalterliche Geschichte, Direktor des Deutschen Historischen Instituts in Rom/Italien.
- 1998 *Christian Menn*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., em. Professor für Konstruktiven Ingenieurbau an der ETH Zürich/Schweiz.
- 1999 *Christian Wandrey*, Dr.rer.nat., Professor für Biotechnologie, Universität Bonn, Direktor des Instituts für Biotechnologie des Forschungszentrums Jülich.

## MITGLIEDERVERZEICHNIS

(Stand: 31.12.99)

### Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Fallersleber-Tor-Wall 16, 38100 Braunschweig  
 Telefon: (0531) 1 44 66 · Telefax: (0531) 1 44 60

- Präsident:* Prof. em. Dr. phil. Norbert Kamp  
 († 12.10.1999)  
 Prof. Dr. rer. nat. Joachim Klein  
 (bis 31.12.2001)
- Generalsekretär:* Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Elmar Steck  
 (bis 31.12.2000)
- Geschäftsstelle:* Frau Hannelore Haubold (Büroleiterin)  
 Frau Gabriele Petersen

### Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

*Vorsitzender:* Prof. Dr. rer. nat. Dr. h.c. Karl Schügerl (bis 31.12.1999)

#### *Ordentliche Mitglieder:*

- Bogen, Hans Joachim (19.11.1912), Dr. rer. nat., Prof. em. (Botanik, TU Braunschweig),  
 Am Hohen Tore 4 A, 38118 Braunschweig
- Brandes, Dietmar (12.03.1948), Dr. rer. nat. habil., Prof. (Botanik, Dir. der Universitätsbibliothek Braunschweig), Allerstraße 7, 38106 Braunschweig
- Braß, Helmut (22.2.1936), Dr. rer. nat., Prof. (Angewandte Mathematik, TU Braunschweig),  
 Hilsstraße 26, 38122 Braunschweig
- Cramer, Friedrich (20.9.1923), Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Organische Chemie, MPI für Experimentelle Medizin, Göttingen), Hermann-Rein-Straße 3 F, 37075 Göttingen
- Dieminger, Walter (7.7.1907), Dr. rer. techn., apl. Prof. u. Dir. i.R. (Aeronomie, MPI für Aeronomie, Lindau), Berliner Straße 14, 37176 Nörten-Hardenberg
- Ehrich, Hans-Dieter (2.2.1943), Dr. rer. nat., Prof. (Informatik, TU Braunschweig),  
 Mannheimstraße 66, 38112 Braunschweig
- Glaßmeier, Karl-Heinz (28.4.1954), Dr. rer. nat., Prof. (Geophysik, TU Braunschweig),  
 Friedrich-Löffler-Weg 13, 38116 Braunschweig
- Göbel, Ernst Otto (24.03.1946), Dr. rer. nat., Prof. u. Prä. (Experimentalphysik der PTB Braunschweig), Oscar-Fehr-Weg 16, 38116 Braunschweig
- Görlitzer, Klaus (29.7.1940), Dr. rer. nat., Prof. (Pharmazeutische Chemie, TU Braunschweig), Waterloostraße 15, 38106 Braunschweig
- Harborth, Heiko (11.2.1938), Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik, TU Braunschweig),  
 Bienroder Weg 47, 38106 Braunschweig

- Hartmann, Thomas (2.2.1937), Dr. rer. nat., Prof. (Pharmazeutische Biologie, TU Braunschweig), Walter-Hans-Schultze-Straße 21, 38116 Braunschweig
- Haul, Robert (31.5.1912), Dr.-Ing. habil., Prof. em. (Physikalische Chemie, Universität Hannover), Schellingstraße 5, 30625 Hannover
- Heidberg, Joachim (30.1.1933), Dr. phil. nat., Prof. (Physikalische Chemie, Universität Hannover), Zuckmayerstraße 9, 30453 Hannover
- Hövermann, Jürgen (15.3.1922), Dr. rer. nat., Prof. em. (Geographie, Universität Göttingen), Nelkenweg 10, 37154 Northeim
- Hopf, Henning (13.12.1940), Dr. phil., Prof. (Organische Chemie, TU Braunschweig), Steinbrecherstraße 9, 38106 Braunschweig
- Hulek, Klaus Wolfgang (19.8.1952), Dr. rer. nat. habil., Prof. (Mathematik, Universität Hannover), Peiner Weg 17, 31303 Burgdorf
- Jockusch, Brigitte M. (27.09.1939), Dr. rer. nat., Prof. (Zoologie, TU Braunschweig), Wendenstraße 28/29, 38100 Braunschweig
- Kanold, Hans-Joachim (29.7.1914), Dr. rer. nat. habil., Prof. em. (Mathematik, TU Braunschweig), Güldenstraße 41, 38100 Braunschweig
- Klein, Joachim (20.08.35), Dr. rer. nat., Prof. (Makromolekulare Chemie, TU Braunschweig), Hühnerkamp 21, 38104 Braunschweig
- Kowalsky, Hans-Joachim (16.7.1921), Dr. rer. nat., Prof. em. (Mathematik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 20, 38302 Wolfenbüttel
- Litterst, Fred Jochen (9.12.1945), Dr. rer. nat. habil., Prof. u. Univ.-Präs. (Experimentalphysik, TU Braunschweig), Nordendorfweg 4 A, 38110 Braunschweig
- Maaß, Günter (7.1.1934), Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Biophysikalische Chemie, GBF Braunschweig), Im Eichholz 27, 30657 Hannover
- Meijere, Armin de (18.05.1939), Dr. rer. nat., Prof. (Chemie, Universität Göttingen), Brombeerweg 13, 37077 Göttingen
- Müller, Georg (1.10.1930), Dr. rer. nat., Dr. rer. nat. h.c., Prof. em. (Mineralogie und Petrographie, TU Clausthal), Einersberger Blick 27, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Richter, Egon (24.3.1928), Dr. rer. nat., Prof. em. (Theoretische Physik, TU Braunschweig), Sommerlust 33, 38118 Braunschweig
- Rieger, Georg Johann (16.8.1931), Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik, Universität Hannover), Rosenstraße 2, 31311 Uetze
- Röhrs, Manfred (22.9.1927), Dr. rer. nat., Prof. (Zoologie, Tierärztliche Hochschule Hannover), Im Dorffeld 43, 30966 Hemmingen
- Schügerl, Karl (22.6.1927), Dr. rer. nat., Dr. h.c., Prof. em. (Technische Chemie, Universität Hannover), Arnumer Kirchstraße 31, 30966 Hemmingen
- Schumann, Hilmar (8.11.1902), Dr. phil. habil., Prof. em. (Mineralogie, TU Braunschweig), Wohnpark Hohetor, Madamenweg 14, 38118 Braunschweig
- Schwink, Christoph (20.3.1928), Dr. rer. nat., Prof. em. (Physik, TU Braunschweig), Spitzwegstraße 21, 38106 Braunschweig
- Stahl, Wolfgang (17.8.1935), Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Isotopengeochemie und -geophysik, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe), Hermann-Löns-Weg 14, 30938 Burgwedel

- Steudel, Andreas (17.2.1925), Dr. rer. nat., Prof. (Physik, Universität Hannover), Hahnensteg 41 C, 30549 Hannover
- Tietz, Horst (11.3.1921), Dr. phil., Prof. em. (Mathematik, Universität Hannover), Röddinger Straße 31, 30823 Garbsen
- Vollmar, Roland (1.11.1939), Dr.-Ing., Prof. (Informatik, Universität Karlsruhe), Wendtstraße 10, 76185 Karlsruhe
- Wannagat, Ulrich (31.5.1923), Dr. rer. nat., Dr. techn. h.c., Prof. em. (Anorganische Chemie, TU Braunschweig), Waldweg 12, 38302 Wolfenbüttel
- Weinert, Hans Joachim (26.1.1927), Dr. phil. et rer. nat. habil., Prof. (Mathematik, TU Clausthal), Glückaufweg 6, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Welling, Herbert (1.9.1929), Dr. rer. nat., Prof. (Physik, Universität Hannover), Nogatweg 13, 30916 Isernhagen
- Willerding, Ulrich (8.7.1932), Dr. rer. nat., apl. Prof. (Botanik, Universität Göttingen), Calsowstraße 60, 37085 Göttingen
- Winterfeldt, Ekkehard (13.5.1932), Dr. rer. nat., Dr. h.c., Prof. (Organische Chemie, Universität Hannover), Sieversdamm 34, 30916 Isernhagen
- Zinner, Gerwalt (30.9.1924), Dr. phil., Prof. em. (Pharmazeutische Chemie, TU Braunschweig), Am Papenholz 14, 38104 Braunschweig

*Korrespondierende Mitglieder:*

- Bartels, Heinz, Dr. med., Prof. em. (Vegetative Physiologie, Medizinische Hochschule Hannover), Am Rehberg 7, 78337 Öhningen
- Bürger, Hans, Dr. rer. nat., Prof. (Anorganische Chemie, Bergische Universität Wuppertal), Kruppstraße 230, 42113 Wuppertal
- Engelhardt, Wolf Freiherr von, Dr. phil., Prof. em. (Mineralogie und Petrographie, Universität Tübingen), Wilhelmstraße 56, 72074 Tübingen
- Ertl, Gerhard, Dr. rer. nat., Dr. h.c., Prof. u. Dir. (Physikalische Chemie, Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft), Garystraße 18, 14195 Berlin
- Fejes Tóth, László, Dr., Prof. (Mathematik, Hungarian Academy of Sciences), Realtanoda U. 13-15, H-1053 Budapest /Ungarn
- Haken, Hermann, Dr. rer. nat., Dr. h.c. mult., Prof. (Theoretische Physik, Universität Stuttgart), Sandgrubenstraße 1, 71063 Sindelfingen
- Keßler, Franz Rudolf, Dr. phil., Prof. em. (Physik, TU Braunschweig), Am Krausberg 12, 52351 Düren
- Kippenhahn, Rudolf, Dr. rer. nat., Prof. u. Dir. (Astrophysik, MPI für Physik und Astrophysik), Rautenbreite 2, 37077 Göttingen
- Kneser, Martin, Dr. rer. nat., Prof. (Mathematik, Universität Göttingen), Guldenhagen 5, 37085 Göttingen
- Kuhn, Hans, Dr. phil., Dr. rer. nat. hc. mult., Prof. u. Dir. i.R. (Biophysikalische Chemie, MPI Göttingen), Ringoldswilstraße 50, CH-33656 Tschingel ob Gunten/Schweiz
- Mensching, Horst, Dr. rer. nat., Prof. em. (Geographie, Universität Hamburg), Pulverhofsweg 46, 22156 Hamburg

## Personalia

- Meschede, Dieter, Dr. rer. nat., Prof. (Angewandte Physik, Universität Bonn), Wegeler Straße 8, 53115 Bonn
- Schaller, Friedrich, Dr. rer. nat., Prof. (Zoologie, Universität Wien), Regenweg 1/14/3, A-1170 Wien/Österreich
- Schwab, Klaus, Dr. rer. nat., Prof. (Geologie und Paläontologie, TU Clausthal), Berliner Straße 119, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Scriba, Christoph J., Dr. rer. nat., Prof. (Geschichte der Naturwissenschaften, Universität Hamburg), Bellevue 23, 22301 Hamburg
- Voigt, Hans Heinrich, Dr. rer. nat., Prof. em. (Astronomie und Astrophysik, Universität Göttingen), Charlottenburger Straße 19, 37085 Göttingen
- Voronkov, Michael Gregor, Dr. rer. nat., Dr. h.c., Prof. u. Dir. (Chemie, Siberian Division of the Academy of Science), 1 Favorsky Street, 664033 Irkutsk
- Witting, Hermann, Dr. rer. nat. habil., Dr. rer. nat. h.c., Prof. (Mathematik, Universität Freiburg), Anemonenweg 3, 79107 Freiburg

**Klasse für Ingenieurwissenschaften**

*Vorsitzender:* Prof.em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c.mult. Erwin Stein (bis 31.12.2002)

*Ordentliche Mitglieder:*

- Batel, Wilhelm (3.11.1922), Dr.-Ing., Prof. u. Dir. (Verfahrenstechnik, FAL Braunschweig), Peter-Joseph-Krahe-Straße 8, 38102 Braunschweig
- Billib, Herbert (21.10.1904), Dr.-Ing., Dr. nat. techn. h.c., Prof. em. (Wasserwirtschaft, Hydrologie, Landwirtschaftlicher Wasserbau, Universität Hannover), Franzenbaderhof 9, 30559 Hannover
- Bohnet, Matthias (20.7.1933), Dr.-Ing., Prof. (Verfahrens- und Kerntechnik, TU Braunschweig), Otto-Hahn-Straße 45, 38116 Braunschweig
- Brethauer, Karlheinz (5.3.1922), Dr.-Ing., Prof. em. (Elektrotechnik, TU Clausthal), Berliner Straße 45, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Buchwald, Konrad (16.2.1914), Dr. phil. nat. habil., Prof. em. (Landespflege, Universität Hannover), Große Heide 33, 30657 Hannover
- Dizioğlu, Bekir (13.12.1920), Dr.-Ing., Prof. em. (Getriebelehre und Maschinendynamik, TU Braunschweig), Marienburgweg 36, 38302 Wolfenbüttel
- Duddeck, Heinz (14.5.1928), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Statik, TU Braunschweig), Greifswaldstraße 38, 38124 Braunschweig
- Eßlinger, Maria (4.3.1913), Dr.-Ing., apl. Prof. (Statik, DLR Braunschweig), Bussardweg 2, 38108 Braunschweig
- Gerke, Karl (10.8.1904), Dr.-Ing., Prof. em. (Geodäsie, TU Braunschweig), Spitzwegstraße 19, 38106 Braunschweig
- Groth, Klaus (8.12.1923), Dr.-Ing., Prof. em. (Kolbenmaschinen, Universität Hannover), Schaftrift 18, 30952 Ronnenberg
- Haeßner, Frank (6.1.1927), Dr. rer. nat., Prof. em. (Werkstoffkunde und Herstellungsverfahren, TU Braunschweig), Julius-Leber-Straße 46, 38116 Braunschweig



- Hake, Günter (27.5.1922), Dr.-Ing., Dr. phil. h.c., Prof. em. (Topographie und Kartographie, Universität Hannover), Börie 58, 30966 Hemmingen
- Henn, Walter (20.12.1912), Dr.-Ing., Dr. techn. h.c., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Baukonstruktionen und Industriebau, TU Braunschweig), Ramsachleite 13, 82418 Murnau
- Herrenberger, Justus (27.5.1920), Dr.-Ing., Prof. em. (Baukonstruktionen, TU Braunschweig), Ginsterweg 22, 38126 Braunschweig
- Jeschar, Rudolf (17.6.1930), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Energieverfahrenstechnik, TU Clausthal), Roseneck 1, 38640 Goslar
- Kind, Dieter (5.10.1929), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Honorarprof. u.Präs. i.R. (Hochspannungstechnik, TU Braunschweig und PTB Braunschweig), Knapstraße 4, 38116 Braunschweig
- Konecny, Gottfried (17.6.1930), Dr.-Ing., Dr. h.c. mult., Prof. (Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover), Wartheweg 22, 30559 Hannover
- Kordina, Karl (7.8.1919), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Stahlbeton- und Massivbau, TU Braunschweig), Im Heidekamp 13, 38112 Braunschweig
- Kose, Volkmar (30.03.1936), Dr. rer. nat., Honorarprof. (Präzisionsmeßtechnik, TU Braunschweig, PTB Braunschweig), Nernstweg 9, 38116 Braunschweig
- Kowsky, Wolfgang (23.03.1958), Dr.-Ing. habil., Prof. (Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig), Dorothea-Erxleben-Straße 41 B, 38116 Braunschweig
- Lautz, Günter (15.11.1923), Dr. rer. nat., Prof. em. (Elektrophysik, TU Braunschweig), Fallsteinweg 97, 38302 Wolfenbüttel
- Leilich, Hans-Otto (28.11.1925), Dr.-Ing., Prof. em. (Datenverarbeitungsanlagen, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 61 A, 38302 Wolfenbüttel
- Leonhard, Werner (25.5.1926), Dr.-Ing., Dr. h.c., Prof. em. (Regelungstechnik, TU Braunschweig), Am Schiefen Berg 32, 38302 Wolfenbüttel
- Leschonski, Kurt (17.12.1930), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Mechanische Verfahrenstechnik, TU Clausthal), Am Dammgraben 20, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Lindmayer, Manfred (4.10.1941), Dr.-Ing., Prof. (Elektrische Energieanlagen, TU Braunschweig), Am Papenholz 15, 38104 Braunschweig
- Mahrenholtz, Oskar (17.5.1931), Dr.-Ing., Prof. (Mechanik, TU Hamburg-Harburg), Hermann-Löns-Weg 17 F, 21220 Sevetal
- Marx, Claus (21.8.1931), Dr.-Ing., Dr. h.c., Prof. (Tiefbohrkunde und Erdölgewinnung, TU Clausthal), Am Stollen 18, 38640 Goslar
- Matthies, Hans Jürgen (6.11.1921), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Landmaschinen, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 15, 38116 Braunschweig
- Mecke, Wilhelm (12.8.1907), Dr.-Ing., Prof. em. (Straßenwesen und Erdbau, TU Braunschweig), Pascheburgring 8, 37154 Northeim
- Mitschke, Manfred (5.5.1929), Dr.-Ing., Prof. (Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig), Buchfinkweg 1, 38112 Braunschweig
- Möller, Dietrich (18.12.1927), Dr.-Ing., Prof. em. (Vermessungskunde, TU Braunschweig), Steinkamp 6, 38165 Lehre
- Mühlbauer, Alfred (9.11.1932), Dr.-Ing., Prof. (Elektrowärme, Universität Hannover), Westerfeldweg 44, 30900 Wedemark



- Musmann, Hans Georg (14.8.1935), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, Universität Hannover), Heckenrosenweg 24, 38259 Salzgitter
- Natke, Hans Günther (9.5.1933), Dr. rer. nat., Dr. h.c. mult., Prof. (Dynamik, Schall- und Meßtechnik, Universität Hannover), Pyrmonter Straße 51, 30459 Hannover
- Partenscky, Hans-Werner (3.4.1926), Dr.-Ing., Dr. phys., Dr. h.c., Prof. (Verkehrswasserbau und Küsteningenieurwesen, Universität Hannover), Wichbergstraße 20, 30519 Hannover
- Peil, Udo (20.04.1944), Dr.-Ing., Prof. (Stahlbau, TU Braunschweig), Försterkamp 9, 38302 Wolfenbüttel
- Pelzer, Hans (20.1.1936), Dr.-Ing., Prof. (Vermessungskunde, Universität Hannover), An der Worth 26, 30966 Hemmingen
- Popp, Karl (14.8.1942), Dr.-Ing., Prof. (Mechanik, Universität Hannover), Sauerbruchweg 49, 31535 Neustadt/Rbge.
- Reimers, Ulrich (23.3.1952), Dr.-Ing., Prof. (Nachrichtentechnik, TU Braunschweig), Kollwitzstraße 28, 38159 Vechelde
- Rögener, Heinz (20.9.1913), Dr. phil., Prof. em. (Thermodynamik, Universität Hannover), Asselweg 10 B, 30826 Garbsen
- Rostásy, Ferdinand Stefan (4.5.1932), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h. Prof. (Baustoffe und Stahlbetonbau, TU Braunschweig), Nietzschestraße 26, 38126 Braunschweig
- Rothert, Heinrich (5.12.1938), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Statik, Universität Hannover), Feldbrunnenstraße 15, 20148 Hamburg
- Scheer, Joachim (5.3.1927), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Stahlbau, TU Braunschweig), Wartheweg 20, 30559 Hannover
- Schönfelder, Helmut (3.4.1926), Dr.-Ing., Prof. em., (Nachrichtentechnik, TU Braunschweig), Fürstenhofweg 1 A, 38667 Bad Harzburg
- Schulitz, Helmut C. (17.07.1936), Dr.-Ing., M.Arch., Arch.BDA, Hon. FAIA, Prof. (Architektur, TU Braunschweig), Am Dahlumer Holze 27, 38126 Braunschweig
- Schwerdtfeger, Klaus (16.9.1934), Dr.-Ing., Prof. (Allgemeine Metallurgie, TU Clausthal), Zeppelinstraße 28, 38640 Goslar
- Steck, Elmar (11.7.1935), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Mechanik, TU Braunschweig), Mauernstraße 12, 38312 Borsum/Bornum
- Stein, Erwin (5.7.1931), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Dr. h.c. mult., Prof. em. (Baumechanik, Universität Hannover), Am Ortfelde 124, 30916 Isernhagen
- Thoma, Manfred (24.2.1929), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Dr. h.c., Prof. (Regelungstechnik, Universität Hannover), Westermannweg 7, 30419 Hannover
- Tönshoff, Hans Kurt (14.5.1934), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen, Universität Hannover), Bruchholzwiesen 10, 30938 Burgwedel
- Unger, Hans-Georg (14.9.1926), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h. mult., Dr. rer. nat. h.c., Prof. em. (Hochfrequenztechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 10, 38116 Braunschweig
- Weh, Herbert (1.3.1928), Dr.-Ing., Dr. sc. techn. h.c., Prof. (Starkstromtechnik, TU Braunschweig), Wöhlerstraße 20, 38116 Braunschweig

- Wiendahl, Hans-Peter (11.2.1938), Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Arbeitsmaschinen und Fabrikanlagen, Universität Hannover), Am Winkelberge 6, 30826 Garbsen
- Wierig, Hans-Joachim (22.6.1927), Dr.-Ing., Prof. (Baustoffkunde, Universität Hannover), Hindenburgallee 31, 30989 Gehrden
- Zabeltitz, Christian von (7.8.1932), Dr.-Ing., Prof. (Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover), Hellwiesen 3, 30900 Wedemark
- Zenner, Harald (8.7.1938), Dr.-Ing., Prof. (Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit, TU Clausthal), Siebensternweg 22, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Zielke, Werner (8.7.1937), Dr.-Ing., Prof. (Strömungsmechanik, Universität Hannover), Lönsweg 31, 30826 Garbsen

*Korrespondierende Mitglieder:*

- Baehr, Hans Dieter, Dr.-Ing., Dr. E.h., Prof. (Thermodynamik, Universität Hannover), Dürerstraße 9, 44795 Bochum
- Bjerhammer, Arne, tekn. dr., Prof. (Geodäsie, Kungl. Tekniska Högskolan Stockholm)
- Crighton, FRS, David G., FRS, Prof. Head of Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics), (Angewandte Mathematik, University of Cambridge), Silver Street, Cambridge, CB3 9EW/United Kingdom
- Funke, Paul, Dr.-Ing., Prof. (Werkstoffumformung, TU Clausthal), Arnikaweg 12, 38678 Clausthal-Zellerfeld
- Garbrecht, Günther, Dr.-Ing., Dr. sc. h.c., Prof. em. (Wasserbau, Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, TU Braunschweig), Drosselweg 15, 38179 Schwülper
- Gersten, Klaus, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Thermo- und Fluidodynamik, Universität Bochum), Hofleite 15, 44795 Bochum
- Grigull, Ulrich, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. em. (Thermodynamik, TU München), Heinrich-Vogl-Straße 1, 81479 München
- Hofmann, Wilhelm, Dr.-Ing., Prof. em. (Baukonstruktion und Entwerfen, Universität Hannover), Wohnstift Augustinum, App. 5513, Renteilichtung 8, 45134 Essen
- Kärner, Hermann Christian, Dr.-Ing., Dr. h.c., Prof. (Hochspannungstechnik, TU Braunschweig), Lessingstraße 10 A, 94575 Windorf
- Kistenmacher, Hans, Dr. rer. pol., Prof. (Regional- und Landesplanung, Universität Kaiserslautern), Friedrich-Ebert-Straße 1, 67271 Neuleiningen
- Kracke, Rolf, Dr.-Ing., Prof. (Verkehrs- und Eisenbahnwesen, Universität Hannover), Freihorstfeld 8, 30559 Hannover
- Krätzig, Wilfried B., Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Statik und Dynamik/Bauingenieurwesen, Ruhr-Universität Bochum), Wagenfeldstraße 8 A, 58456 Witten
- Kröner, Ekkehart, Dr. rer. nat., Prof. em. (Theoretische und Angewandte Physik, Universität Stuttgart), Bardiliweg 6, 70186 Stuttgart
- Mayinger, Franz, Dr.-Ing., Prof. (Verfahrenstechnik, TU München), Am Haselnußstrauch 18, 80935 München
- Moritz, Helmut, Dr. techn., Dr.-Ing. E.h., Prof. (Erdmessung und physikalische Geodäsie, TU Graz), Maria-Troster-Straße 114, A-8043 Graz/Österreich

- Pierick, Klaus, Dr.-Ing., Prof. (Verkehr, Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, TU Braunschweig), Am Uhlenbusch 31, 38108 Braunschweig
- Ruge, Jürgen, Dr.-Ing., Prof. em. (Schweißtechnik und Werkstofftechnologie, TU Braunschweig), Waldstraße 16, 82110 Germering
- Schlitt, Herbert, Dr. phil. nat., Prof. (Regelungstechnik, Universität Erlangen-Nürnberg), Egerlandstraße 5, 91058 Erlangen
- Spengelin, Friedrich, Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau, Universität Hannover), Habichtshorststraße 12, 30655 Hannover
- Stracke, Ferdinand, Dipl.-Ing., Prof. (Städtebau und Regionalplanung, TU München), Karlstraße 43/II, 80333 München
- Torge, Wolfgang, Dr.-Ing., Prof. (Theoretische Geodäsie, Universität Hannover), Mönchekamp 4 A, 30457 Hannover
- Triebel, Wolfgang, Dr.-Ing., Honorarprof. (Bauforschung, Universität Hannover), Max-Eyth-Straße 48, 30173 Hannover
- Truckenbrodt, Erich, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E.h., Prof.em. (Strömungsmechanik, TU München), Josef-Würth-Straße 12, 82031 Grünwald
- Weimann, Günter, Dr.-Ing., Prof. em. (Photogrammetrie und Kartographie, TU Braunschweig), Knupfertal 40, 89520 Heidenheim
- Zerna, Wolfgang, Dr.-Ing., Prof. em. (Konstruktiver Ingenieurbau, Universität Bochum), Am Wittenstein, 45527 Hattingen
- Zumpe, Günter, Dr.-Ing. habil. Dr. h.c., Prof. (Mechanik, TU Dresden), Goetheallee 32 A, 01309 Dresden

#### **Klasse für Geisteswissenschaften**

*Vorsitzender:* Prof. Dr. phil. Gregor Maurach (bis 31.12.1999)

#### *Ordentliche Mitglieder:*

- Alpers, Klaus (27.09.1935), Dr. phil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Hamburg), Kolberger Straße 12, 21339 Lüneburg
- Behr, Hans-Joachim (18.01.1949), Dr. phil., Prof. (Ältere deutsche Sprache und Literatur, TU Braunschweig), Steige 8, 38102 Braunschweig
- Boeder, Heribert (17.11.1928), Dr. phil., Prof. (Philosophie, Universität Osnabrück), Lönsweg 10, 49076 Osnabrück
- Gahl, Klaus P.G. (14.06.1937), Dr. med., Prof. und Chefarzt (Innere Medizin, Medizinische Klinik II am Städtischen Klinikum Braunschweig), Dürerstraße 10, 38106 Braunschweig
- Henne, Helmut (5.4.1936), Dr. phil., Prof. (Germanistische Linguistik, TU Braunschweig), Platanenstraße 27, 38302 Wolfenbüttel
- Kühne, Gunther (25.8.1939), LL.M., Dr. jur., Prof. (Berg- und Energierecht, TU Clausthal), Geheimrat-Ebert-Straße 1, 38640 Goslar
- Lohse, Eduard (19.2.1924), Dr. theol.D., Honorarprof. und Landesbischof i.R. (Ev.-luth. Landeskirche Hannover), Ernst-Curtius-Weg 7, 37075 Göttingen

- Märkl, Claudia (3.07.1954), Dr. phil. habil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, TU Braunschweig), Wendenmaschstraße 14, 38114 Braunschweig
- Maurach, Gregor, Dr. phil., Prof. (Lateinische Philologie, Universität Münster), Anton-Aulke-Straße 27, 48167 Münster
- Meckseper, Cord (29.10.1934), Dr.-Ing. habil., Prof. (Bau- und Kunstgeschichte, Universität Hannover) Eisenacher Weg 4, 30179 Hannover
- Mohr, Hans-Heinrich (1.6.1917), Dr. rer. pol. (Versicherungswissenschaften), Am Bürgerpark 4 A, 38102 Braunschweig
- Müller, Gerhard (10.5.1929), Dr. theol., D.D., Honorarprof. und Landesbischof i.R. (Ev.-luth. Landeskirche Braunschweig), Sperlingstraße 59, 91056 Erlangen
- Nitz, Hans-Jürgen (20.8.1929), Dr. phil., Prof. (Kulturgeographie, Universität Göttingen), Kramberg 21, 37120 Bovenden
- Oberbeck, Gerhard (5.10.1925), Dr. rer. nat., Prof. em. (Geographie und Wirtschaftsgeographie, Universität Hamburg), Ginsterweg 4, 25474 Ellerbek
- Peine, Franz-Joseph (18.8.1946), Dr. jur., Prof. (Öffentliches Recht, Universität Göttingen), Kurpromenade 71 B, 14089 Berlin
- Pollmann, Klaus Erich (12.09.1940), Dr. phil., Prof. u. Rektor, (Neuere Geschichte und Zeitgeschichte, Universität Magdeburg), Glogaustraße 17, 38124 Braunschweig
- Raabe, Paul (21.2.1927), Dr. phil. habil., Dr. h.c. mult., apl. Prof. u. Dir. i.R. (Deutsche Literaturwissenschaft, Universität Göttingen, Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Roseggerweg 45, 38304 Wolfenbüttel
- Rengeling, Hans-Werner (25.2.1938), Dr. jur., Prof. (Umweltrecht, Universität Osnabrück), Langeworth 143, 48159 Münster
- Rötting, Hartmut (11.8.1932), M.A., Honorarprof. (Denkmalpflege, Stadtarchäologie, TU Braunschweig), Lobmachersche Straße 18, 38312 Cramme
- Salje, Peter (8.2.1948), Dr. jur. Dr. rer. pol., Prof. (Rechtswissenschaften, Universität Hannover), Kollenrodtstraße 7, 30161 Hannover
- Scheier, Claus-Artur (8.9.1942), Dr. med., Dr. phil. habil., Prof. (Philosophie, TU Braunschweig), Brahmsstraße 1, 38106 Braunschweig
- Schillemeit, Jost (18.2.1931), Dr. phil., Prof. em. (Deutsche Literaturwissenschaft, TU Braunschweig), Friedensallee 48, 38104 Braunschweig
- Schindel, Ulrich (10.10.1935), Dr. phil. habil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Göttingen), Albert-Schweitzer-Straße 3, 37075 Göttingen
- Schmidt-Glintzer, Helwig (24.06.1948), Dr. phil. habil., Prof. u. Dir. (Sinologie, Allgemeine Kulturwissenschaft, Universität Göttingen, Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel), Lessingplatz 1, 38300 Wolfenbüttel
- Schwarz, Brigide (19.1.1946), Dr. phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte und Hilfswissenschaften, Universität Hannover), Geibelstraße 2, 12205 Berlin
- Thieme, Hartmut (20.11.1947), Dr. rer. nat., Leiter d. Archäol. Schwerpunktuntersuchungen im Helmstedter Braunkohlenrevier (Ur- und Frühgeschichte, Nieders. Landesamt f. Denkmalpflege Hannover, Schaumburger Weg 9, 31542 Bad Nenndorf)

- Thieme, Werner (13.10.1923), Dr. jur., Prof. em. (Verwaltungslehre, Universität Hamburg), Am Karpfenteich 58, 22339 Hamburg
- Thies, Harmen (26.12.1941), Dr. phil., Prof. (Baugeschichte, TU Braunschweig), Rode-  
weg 3, 38162 Abbenrode
- Warncke, Carsten-Peter (21.6.1947), Dr. phil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Göt-  
tingen), Schöne Aussicht 59, 34346 Hann. Münden
- Wilhelm, Herbert (8.6.1922), Dr. oec., Prof. em. (Volkswirtschaftslehre, TU Braunschweig),  
Hirschbergstraße 16, 38124 Braunschweig
- Zahlten, Johannes (25.1.1938), Dr. phil., Prof. (Kunstgeschichte, HBK Braunschweig),  
Olfermannstraße 11, 38102 Braunschweig

*Korrespondierende Mitglieder:*

- Borst, Arno, Dr. phil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, Universität Konstanz), Länger-  
bohlstraße 42, 78467 Konstanz
- Brett, Michael, Ph.D., Reader in the History of North Africa (Arabisch u. Arabische  
Geschichte mit besonderer Berücksichtigung Nordafrikas, School of Oriental and African  
Studies, London), 142 Turney Road, GB-West Dulwich, SE 21 7JJ/Groß Britannien
- Burkert, Walter, Dr. phil., Prof. (Klassische Philologie, Universität Zürich), Wildsbergstraße 8,  
CH-8610 Uster/Schweiz
- Cohen-Mushlin, Aliza, Ph.D., Dir. (Jüdische Kunst, Center for Jewish Art, The Hebrew  
University of Jerusalem), 19 Efrata St., Jerusalem 93384/Israel
- Ehlers, Joachim, Dr. phil., Prof. (Geschichtswissenschaften, FU Berlin), Am Wieselbau 9,  
14169 Berlin
- Elbern, Victor H., Dr. phil., Accademico dei Lincei, Honorarprof. (Kunstgeschichte, FU  
Berlin), Ilsensteinweg 42, 14129 Berlin
- Engel-Holland, Eva Johanna, Dr. phil., Prof. em. (Germanistik und Romanistik, Wellesley  
College/USA und Forschungsauftrag DFG Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel),  
Schloßplatz 10, 38304 Wolfenbüttel
- Esch, Arnold, Dr. phil., Prof. u. Dir. (Mittelalterliche Geschichte, Deutsches Historisches  
Institut in Rom), Via della Lungara, 18, 00186 I-Roma/Italien
- Fehl, Philipp P., Ph.D., Dr. phil., Prof. em. (Kunstgeschichte, School of Art and Design,  
University of Illinois), 408 East Peabody Drive, University of Illinois, USA-Champaign,  
Illinois 61820/USA
- Fleckenstein, Josef, Dr. phil., Prof. em. u. Dir. i.R. (Mittelalterliche Geschichte MPI für  
Geschichte, Göttingen), Zur Akelei 37, 37077 Göttingen
- Garrigues, Marie-Odile, Dr. phil., Prof. (Philosophie und Theologie, Centre Nationale de  
la Recherche Scientifique Paris), Frankreich
- Klibansky, Raymond, Dr. phil., Prof. (Philosophie, Wolfson College, Oxford University),  
GB-Oxford OX2 6UD/Großbritannien
- Kloft, Hans, Dr. phil., Prof. (Alte Geschichte und Wirtschaftsgeschichte, Universität  
Bremen), Wernigeroder Straße 36, 28205 Bremen

- Lavrov, Sergej, Dr., Prof. (Ökonomische Geographie, Universität St. Petersburg), GUS
- Narkiss, Bezalel, Dr. phil., Prof. u. Dir. (Dep. of Art History, Index of Jewish Art, The Hebrew University Jerusalem), Humanities Building, Mt. Scopus, 91042 Jerusalem, Isarel
- Neumann, Günter, Dr. phil., Prof. em. (Sprachwissenschaften, Universität Würzburg), Thüringer Straße 20, 97078 Würzburg
- Oexle, Otto G., Dr. phil., Prof. u. Dir. (Geschichte, Direktor des MPI für Geschichte, Göttingen), Planckstraße 15, 37073 Göttingen
- Peroni, Adriano, Dr. phil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Florenz), Via Lungo L' Affrico 164, I-50137 Florenz/Italien
- Poeschke, Joachim, Dr. phil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Münster), Rudolf-von-Langen-Straße 26, 48147 Münster
- Rambaldi, Enrico, Dr. phil., Prof. (Universität Mailand), Via Monte Bianco 36, I-20149 Mailand/Italien
- Rosen, Stanley, Dr.phil., Prof. (Philosophie, Pennsylvania State University), USA
- Schneidmüller, Bernd, Dr. phil. habil., Prof. (Mittelalterliche Geschichte, Universität Bamberg), Reuthersberg 18, 96135 Stegaurach
- Schwerdtfeger, Gunther, Dr. jur., Prof. (Öffentliches Recht und Recht der sozialen Sicherung, Universität Hannover), Hülsebrinkstraße 23, 30974 Wennigsen (Deister)
- Seidensticker, Bernd, Dr. phil., Prof. (Klassische Philologie, Freie Universität Berlin), Terrassenstraße 17 A, 14129 Berlin
- Ströker, Elisabeth, Dr. phil., Dr. phil. h.c., Prof. (Philosophie, Universität Köln), Wüllnerstraße 135, 50935 Köln
- Szlezák, Thomas Alexander, Dr. phil., Prof. (Griechische Philologie, Universität Tübingen), Neckarhalde 3, 72070 Tübingen
- Tsujimura, Koichi, Dr. phil., Prof. (Philosophie, Universität Kyoto), Sakyoku, Kamitakano, Higashida-cho 12, J-606 Kyoto/Japan
- Ullmann, Ernst, Dr. phil. habil., Prof. (Kunstgeschichte, Universität Leipzig), Tschaikowski-sstraße 12, 04105 Leipzig
- Voppel, Götz, Dr. rer. pol., Prof. (Wirtschafts- und Sozialgeographie, Universität Köln), Neckarstraße 58, 51149 Köln
- Zeitler, Rudolf, Dr. phil., Prof. em. (Kunstgeschichte, Universität Uppsala), Regngatan 16, S-75431 Uppsala/Schweden